ESSAI SUR LA THEORIE DES TORRENS ET DES RIVIERES, CONTENANT LES...

Jean Antoine Fabre



ESSAI

SUR

LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES.

ESSAI

SUR

LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES,

CONTENANT

Les moyens les plus simples d'en empêcher les ravages, d'en rétrécir le lit & d'y faciliter la Navigation, le Hallage & la Flottaison.

Accompagné d'une discussion sur la Navigation intérieure de la France;

Et terminé par le projet de rendre Paris, Port maritime, en faisant remonter à la voile, par la Seine, les Navires qui s'arrêtent à Rouen.

PAR LE CITOYEN FABRE,

Ingénieur en chef des Ponts & Chaussées, au Département du Var.



A PARIS,

Chez BIDAULT, Libraire, rue Haute-feuille, n°. 10, au coin de la rue Serpente.

AN VI. — 1797.



DISCOURS PRÉLIMINAIRE.

PARMI les objets confiés aux ſoins des ingénieurs des Ponts & Chauſſées, il n'y en a peut-être aucun qui mérite autant de fixer l'attention du Gouvernement que la partie des torrens & des rivières, ſoit qu'on les conſidère relativement à leurs ravages dans le tems des crues, aux moyens d'y remédier & à l'étendue immenſe de terreins infiniment précieux qu'on peut conquérir aux dépens de leur lit, ſoit qu'on les enviſage relativement aux avantages qu'on en peut retirer en y facilitant, ou en augmentant la navigation, le hallage & la flottaiſon. Comme le ſujet eſt des plus importans, pour éclairer nos lecteurs, avant d'expoſer le plan de notre ouvrage, nous allons entrer dans quelques détails préliminaires, d'après leſquels on ſe convaincra de la vérité de notre aſſertion. Commençons d'abord par fixer les idées ſur la nature des torrens & des rivières.

Les eaux pluviales, en tombant ſur le penchant des maſſes primitives des montagnes, y ont creuſé, en s'écoulant, des vallées plus ou moins profondes, ſuivant l'époque plus ou moins reculée où elles ont commencé d'agir, & ſuivant le degré de tenacité des matières qui compoſent l'intérieur de ces maſſes. Ces vallées étant aujourd'hui les endroits les plus bas des montagnes, reçoivent pendant les pluies toutes les eaux

qui s'écoulent ſuperficiellement & les conduiſent aux rivières les plus voiſines. Par où l'on voit, qu'à l'exception de quelques eaux de ſources dont les conduites ſouterraines ſont coupées & interceptées par ces mêmes vallées, les torrens ne ſont guères alimentés que par les eaux pluviales ſuperficielles des montagnes, & que hors le tems des pluies, ils ſont preſque à ſec.

Les rivières au contraire, dans leur état habituel & ordinaire, ne ſe forment que des eaux de ſources qui ſe rendent dans leur lit par la voie des torrens. D'où il ſuit, que dans tous les tems, les rivières ont un certain volume d'eau plus ou moins conſidérable, ſelon qu'on s'éloigne plus ou moins de leur origine. C'eſt la première différence qu'il y a entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent ſur le penchant de la montagne où il prend ſon origine, forme une courbe convexe; & parvenu au pied, il change de direction & s'établit ſur un plan plus ou moins incliné; tandis que le lit de la rivière forme, dans toute l'étendue de ſon cours, une courbe aſſymptotique ſans interruption, dont les élémens s'approchent d'autant plus de la ligne de niveau, qu'ils s'éloignent davantage de la ſource. C'eſt-là une ſeconde différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent arrivé au pied de la montagne où il prend ſon origine, éprouve diverſes alternatives dans ſa hauteur. Il s'exhauſſe ſi la crue eſt courte, &

il s'abaisse si la crue est longue. Dans la rivière au contraire, le lit est toujours sensiblement à la même hauteur, quelle que soit la longueur de la crue. Il ne s'exhausse qu'en s'élargissant, & ne s'abaisse qu'en se rétrécissant. Troisième différence entre le torrent & la rivière.

Le lit du torrent au bas de la montagne sur laquelle il se forme, a toujours beaucoup plus de pente que celui de la rivière qui le reçoit : ce qui constitue une quatrième différence entre le torrent & la rivière.

Le gravier du torrent n'est composé que de pierres brutes & anguleuses, telles qu'elles descendent de la montagne. Celui de la rivière au contraire, ne contient que des galets polis par le frottement & arrondis par la rotation : cinquième différence entre le torrent & la rivière.

Le torrent enfin dans la plaine, sort quelquefois de son lit pour se jetter sur les domaines adjacens qui sont ordinairement plus bas. Mais la rivière corrode les bords & ne les franchit que pour inonder momentanément les propriétés riveraines. C'est la sixième différence entre le torrent & la rivière.

Bien des gens sont dans l'usage de confondre avec le torrent une rivière, lorsqu'elle a beaucoup de pente & de rapidité. On voit, par ce que nous venons d'exposer, que c'est à tort, & qu'il y a des caractères de différence très-bien prononcés entre l'un & l'autre de ces deux courans.

Mais divers torrens réunis ne forment pas tout de ſuite une rivière. Il y a un état intermédiaire où le courant n'eſt plus torrent & n'eſt pas encore rivière. Dans cet état, qui pour l'ordinaire eſt de quelques lieues d'étendue, le courant participe tout à-la-fois de la nature du torrent & de celle de la rivière, & il tient plus ou moins de l'une ou de l'autre ſelon qu'il s'approche davantage du torrent ou de la rivière. C'eſt pour cette raiſon qu'on doit l'appeller *torrent-rivière.*

Ainſi, on voit que dans la nature on doit diſtinguer trois ſortes de courants réellement diſtincts les uns des autres; ſavoir : le torrent proprement dit, la rivière, & le torrent-rivière.

Les ravages des torrens ſont d'autant plus déſaſtreux, qu'une fois opérés, on ne peut plus y remédier. En effet ; lorſque ces ravages s'exercent ſur le penchant d'une montagne, il en réſulte que la couche de terre végétale eſt entraînée, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud & aride. Lorſqu'ils ont lieu dans la plaine ſituée au pied de la montagne, ils s'opèrent à la vérité d'une autre manière, mais qui n'eſt pas moins déſaſtreuſe : car alors, ſi le torrent n'eſt pas contenu, il ſe porte ſur les domaines voiſins, & les couvre de gravier dont l'enlèvement coûteroit ſouvent beaucoup plus que la valeur de la propriété dévaſtée. C'eſt ainſi que dans les pays de montagnes, on voit journellement diſparoître ſous des maſſes énormes de gravier, les domaines les plus précieux.

Les torrens-rivières ayant ordinairement, ainſi que les torrens, un lit ſupérieur aux domaines adjacens, en ſortent auſſi fort ſouvent pour ſe porter ſur ces domaines qu'ils couvrent pareillement de gravier ; & ſi l'on obſerve que dans les pays de montagnes les propriétés les plus précieuſes ſont toujours le long de ces courants, on ſentira combien il eſt malheureux pour ces contrées d'être expoſées à de pareils fléaux.

Les rivières priſes dans les parties de leur cours où elles charient du gravier, ne ſont pas moins déſaſtreuſes. La deſtruction de nos forêts & les défrichemens fort mal-à-propos opérés ſur nos montagnes, en permettant aux eaux pluviales de s'écouler dans un intervalle de tems beaucoup plus court qu'autrefois, ont augmenté à proportion le volume d'eau des rivières pendant les crues. Depuis ce tems, les fertiles domaines ſitués ſur leurs bords ont été corrodés & emportés en grande partie.

Le lit s'élargiſſant par l'effet de ces corroſions s'eſt en même tems exhauſſé ; tandis que les bords étant devenus par-là même inférieurs, ont attiré le courant & ont provoqué les progrès du mal.

Tel eſt l'état de toutes les rivières à fond de gravier. La dévaſtation ſe manifeſte par-tout ſur les domaines riverains. On peut s'en convaincre particulièrement dans les contrées montueuſes où ces rivières ſe trouvent toujours, & en particulier ſur la Durance, dans les

départemens des Basses - Alpes & des Bouches-du-Rhône, où il n'est pas rare de rencontrer des endroits de plus de 1000 toises de largeur occupés par cette rivière, tandis que moins de 150 toises suffiroient au passage de ses eaux dans le tems des plus grandes crues.

Ce n'est pas aux pays de montagnes que se bornent les ravages des rivières. Arrivées dans les pays de plaines, elles rallentissent à la vérité leur cours, & cessent de charier du gravier; mais par-là même, leurs eaux s'enflant davantage, menacent à chaque crue d'inonder les plaines adjacentes. Souvent même les turcies deviennent insuffisantes pour les contenir dans leur lit.

Ce n'est pas tout; si ces rivières s'évacuent dans la Méditerranée, elles y produisent des bancs & des isles qui détruisent le seul avantage qu'on en pourroit retirer; savoir, la navigation : le Rhône nous en fournit un exemple. Cet inconvénient est moins sensible aux embouchures dans l'océan, à cause que dans la haute marée ces bancs sont toujours surmontés d'une certaine profondeur d'eau.

On sent d'après cela, combien il est intéressant pour l'état de trouver des moyens simples & peu coûteux d'arrêter ces ravages lorsqu'il y a possibilité. On préserveroit de la fureur des torrens & des rivières, des domaines précieux qui sont la seule ressource des pays de montagnes. En réduisant les rivières à une largeur

convenable, on gagneroit beaucoup de terreins à l'agriculture. Ces terreins formés des dépôts de limon dans le tems des crues feroient, par-là même, d'une nature supérieure ; & ce qui les rendroit encore plus précieux, c'est que par leur position, ils feroient très-susceptibles d'irrigation. Or, si l'on se donnoit la peine de faire le relevé de tous les terreins qu'on pourroit ainsi gagner sur les rivières de la France, on verroit qu'ils formeroient une étendue immense.

D'un autre côté, on comprend assez que l'on ne peut conquérir ces terreins sur les rivières, sans en rétrécir le cours, & que par-là même, leurs eaux acquérant plus de profondeur, la navigation, le hallage & la flottaison ne pourroient qu'y gagner. Or, ces objets font une partie essentielle de la navigation intérieure, projet depuis long-tems proposé, & dont l'exécution rendroit la France l'état le plus florissant de l'univers.

Si l'on en excepte les torrens tels que nous les avons décrits, & sur lesquels on n'a jamais rien dit, il n'y a peut-être aucune partie de l'hydraulique sur laquelle on ait autant écrit que sur les rivières, & sans contredit il n'y en a aucune au sujet de laquelle nous ayons acquis moins de connoissances. Pour s'en convaincre, on n'a qu'a faire attention qu'en mettant à contribution tout ce qui a été publié à cet égard, on n'a pas encore pu en déduire un mode simple & général de

réduire le lit des rivières, & de faciliter la navigation, de quelque nature qu'elle soit d'ailleurs. Il y a même des auteurs, tels que Bélidor, qui ont prétendu que les rivières qui charient du gravier, doivent être regardées comme *presque indomptables*.

Deux causes ont contribué au défaut de progrès dans cette partie.

La première cause est que divers auteurs ont voulu y appliquer le calcul algébrique, & exprimer par des équations générales, les loix que les eaux suivent dans leur cours. Qu'une pareille application ait lieu dans un courant contenu dans un ouvrage fait de main d'homme, où l'art l'a soumis à un cours régulier, & où, comme par exemple dans un canal, il y a une loi de continuité & d'uniformité, soit dans les mouvemens, soit dans les variations, on sent que dans ce cas la chose ne peut être qu'utile, & qu'il est infiniment avantageux de pouvoir lire dans une équation, modifiée si l'on veut par les résultats de l'expérience, la théorie d'un pareil courant. Mais qu'on fasse une pareille application sur les rivières dont les variations sont multipliées à l'infini, & s'opèrent à chaque pas d'une manière différente suivant le volume des eaux, la nature & la position des obstacles, &c.; il est visible que c'est alors abuser du calcul, & que la théorie qu'on aura par cette voie ne sera qu'une théorie purement hypothétique qui se rapportera aux rivières telles qu'on

les aura imaginées, mais qui ſera tout-à-fait étrangère aux rivières exiſtantes dans la nature.

Cependant on ſent qu'en cherchant à établir la théorie des rivières, on doit les figurer telles qu'elles ſont dans la nature, avec toutes les modifications qui les affectent, & non telles qu'elles ſeroient d'après la ſimple théorie ou d'après des hypothèſes quelconques dénuées de fondement. Si à l'imitation de Pitot, dans les mémoires de l'Académie des Sciences, on ſuppoſe, par exemple, qu'une rivière ſe meuve ſur un plan uniformément incliné, & que de-là on infère que cette rivière éprouvant de la part de la mer une réſiſtance qui détruit la moitié de ſa vîteſſe, doit ſe mouvoir d'un mouvement uniforme ſur les trois derniers quarts de la longueur de ſon cours; ce réſultat eſt parfaitement analogue à la manière dont cet auteur enviſageoit les rivières; mais il eſt complettement démenti par l'expérience, qui ne prouve rien de pareil, ni rien d'approchant. Telle eſt cependant la marche qu'ont ſuivie beaucoup d'auteurs; l'on comprend ſans peine qu'une pareille méthode n'étoit pas faite pour nous éclairer ſur la théorie des rivières.

La deuxième cauſe eſt, que la plupart des auteurs qui ont fait des obſervations ſur le cours des rivières, n'ont jamais eu un point de vue fixe & déterminé auquel ils puſſent conſtamment les rapporter. De-là cette multitude d'obſervations le plus ſouvent oiſeuſes

& de pure curiosité, & presque toujours disparates & incohérentes. Si au contraire ils s'étoient formé un plan préliminaire, par exemple, celui d'utiliser les rivières en réduisant leur lit de la manière la plus simple, & qu'ils se fussent bornés à étudier leur cours sous ce rapport, sans jamais dévier de la ligne qui conduisoit à ce but, on auroit considérablement diminué le nombre d'observations; elles auroient été faites avec suite & intelligence, & l'ensemble n'eût pas manqué de fixer une théorie au moins approximative qui nous eût mis à portée de contenir nos rivières dans de justes bornes, de gagner beaucoup de terrein au profit de l'agriculture, & de faciliter considérablement la navigation.

Nous avions été chargés, il y a environ vingt ans, par l'administration du ci-devant pays de Provence, de visiter les diverses rivières de son ressort, & de faire toutes les observations nécessaires pour simplifier les travaux qu'on étoit habituellement obligé d'exécuter pour les contenir dans leur lit. Les courses que nous fîmes à ce sujet & les réflexions qu'elles nous suggérèrent, nous firent sentir l'insuffisance de la théorie consignée dans les ouvrages connus, & la nécessité d'en créer une qui s'adaptât parfaitement aux besoins de la société. En conséquence, nous fîmes un recueil d'observations relatives à la solution de ce problême : *trouver les moyens les plus simples & les moins dispendieux d'empêcher les*

ravages des torrens & des rivières des pays de montagnes. C'eſt d'après ce recueil que nous composâmes un traité intitulé : *Eſſai ſur la théorie des torrens & des rivières des pays de montagnes.* Nous le préſentâmes le 2 décembre 1780 à l'Académie des Sciences, qui en porta un jugement favorable le 4 avril 1781.

Sur la fin de l'année 1780, ayant été nommé ingénieur des ci-devant États de Provence pour la partie hydraulique, cette place nous a mis à portée de faire une infinité de nouvelles obſervations & des expériences directes ſur les diverſes branches de l'hydraulique, & en particulier ſur les torrens & les rivières. Nous avons même pouſſé ces obſervations juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer : c'eſt pour cette raiſon que nous n'avons jamais publié l'ouvrage dont nous venons de parler : car nous le regardions comme incomplet & ſuſceptible d'un ſupplément eſſentiel.

Dans le mois de fructidor de l'an 4, l'aſſemblée des Ponts & Chauſſées ayant pris connoiſſance de cet ouvrage, jugea qu'il ſeroit utile aux ingénieurs & aux élèves, & opina pour qu'il fût imprimé aux frais du Gouvernement. En conſéquence, jaloux de répondre à la confiance de l'aſſemblée, nous crûmes devoir le refondre & en généraliſer la théorie d'après nos expériences & nos nouvelles obſervations. Le traité que nous publions aujourd'hui eſt le réſultat de ce travail.

L'objet que nous nous propoſons dans ce traité eſt

de donner une théorie, d'après laquelle on puiſſe, par des moyens ſimples & peu coûteux, arrêter les ravages des torrens, des rivières, & des torrens-rivières, depuis la formation des torrens ſur les montagnes juſqu'à l'embouchure des rivières dans la mer; réduire par les mêmes moyens leur lit à de juſtes bornes & y procurer ou y faciliter la navigation, le hallage & la flottaiſon lorſque la choſe eſt poſſible & utile. En conſéquence, nous avons écarté toute obſervation & tout principe qui s'éloignoit de l'utilité publique, & qui ne ſe rapportoit pas aux travaux du reſſort des Ponts & Chauſſées. Ainſi, on ne trouvera rien de ſuperflu dans cet ouvrage.

C'eſt dans la même vue, & d'après ce que nous avons dit précédemment, que nous en avons exclu les calculs ſcientifiques. On n'en trouvera qu'un dont l'expérience même indique l'inutilité. Par conſéquent, on peut regarder cet ouvrage comme à la portée de tout le monde.

Ceux qui ſont accoutumés à écrire d'après leurs propres idées & leurs obſervations, ſavent combien on eſt gêné, ſur-tout dans un ſujet tel que celui-ci, quand on compulſe les ouvrages dont les principes influencent ſouvent notre opinion ſans que nous nous en appercevions, & ne manquent jamais de mettre l'eſprit aux entraves. Ainſi, c'eſt pour n'être pas ſubjugué dans la nôtre par des autorités d'ailleurs très-reſpectables, &

pour pouvoir ſuivre en toute liberté le plan que nous nous étions formé, que nous n'avons uniquement puiſé que dans nos idées & dans notre mémoire. Cette conſidération nous fera trouver grace aux yeux des lecteurs inſtruits, dans le cas où ils rencontreroient quelquefois des idées qui leur paroîtroient extraordinaires. D'ailleurs, nous n'écrivons que pour reculer les bornes des connoiſſances dans cette partie pour le plus grand bien de la choſe publique. Or, comment pourroit-on y réuſſir ſi l'on ſe copioit mutuellement, & ſi l'on marchoit conſtamment ſur les traces les uns des autres.

Ainſi, nous prévenons le public que ce n'eſt point par dédain ni par indifférence pour les auteurs qui ont couru la même carrière, que nous n'avons pas mis leurs ouvrages à contribution. Nous ſavons qu'on y trouve d'excellentes recherches qui peuvent d'ailleurs être très-utiles dans diverſes circonſtances; mais elles n'entroient pas dans notre plan.

Cet ouvrage eſt diviſé en trois parties.

La première partie traite de la théorie des torrens, des rivières, & des torrens-rivières; elle ſe diviſe en cinq ſections.

La première ſection ne contient que des notions préliminaires pour l'intelligence des ſections ſuivantes & du reſte de l'ouvrage. Nous y parlons d'abord de l'abaiſſement progreſſif du niveau des eaux de la mer, de l'origine des montagnes, & des fondrières qui en

ont dégradé les penchans & dont nous faisons connoître la cause, la direction, les limites & l'égard qu'on doit y avoir dans les travaux publics. Nous exposons ensuite très-succinctement, & néanmoins d'une manière complette, les principes de l'aérométrie relatifs à l'évaporation des eaux & à la formation des nuages & des pluies, les observations météorologiques sur la quantité de pluie & d'évaporation, & l'origine des sources & des rivières. Enfin, après un certain détail sur le volume d'eau des rivières & ses variations par les pluies & par la sécheresse, nous établissons la différence qui règne entre les torrens, les rivières & les torrens-rivières, & nous démontrons que, dans l'impossibilité d'atteindre à une théorie rigoureuse, on doit se borner à une théorie approximative.

La deuxième section traite de la théorie des torrens. Nous y examinons d'abord les torrens sur les montagnes où ils prennent leur origine, la manière dont ils se forment, la convexité de la ligne de fond de leur lit & les scissions qu'ils opèrent sur les chaînes de montagnes ; d'où nous tirons quelques conjectures sur la formation des détroits & sur l'anéantissement futur des lacs traversés par des rivières. Nous suivons ensuite ces mêmes torrens depuis le pied des montagnes jusqu'aux rivières ou torrens-rivières où ils se rendent, & nous trouvons que dans cette partie leur direction change totalement ; que leur pente y diminue ; qu'elle

y eſt, en raiſon de la groſſièreté des matières du fond, & que le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.

Nous examinons après cela le cas où il y a une plaine entre la montagne & la rivière qui reçoit le torrent. Nous démontrons qu'alors le lit du torrent ſera aſſez généralement ſupérieur aux terreins adjacens; combien il eſt intéreſſant de le conduire à ſon embouchure par la voie la plus courte, & combien il eſt eſſentiel de le reſſerrer le plus poſſible. Enfin, nous terminerons cette ſection par l'examen des cauſes qui produiſent les torrens, & des maux incalculables qui en réſultent. Ce ſujet eſt abſolument neuf, & il eſt de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes.

Dans la troiſième ſection, nous traitons de la théorie des rivières que nous diviſons en deux claſſes, ſavoir: 1°. les rivières dont le fond eſt gravier, 2°. celles dont le fond eſt ſable ou limon.

Dans les rivières à fond de gravier, nous examinons d'abord la nature & la pente du lit; nous faiſons voir que le gravier tire ſon origine des montagnes adjacentes, & qu'il ſera plus ou moins abondant & plus ou moins groſſier, ſuivant que ces montagnes ſeront plu ou moins hautes, plus ou moins rapides & plus ou moins proches de la rivière: d'où nous concluons que dans les pays de plaines les rivières ne charieront

point de gravier. Nous examinons pareillement la forme des galets du gravier, la cauſe de leur arrondiſſement, & les raiſons pour leſquelles le lit des rivières s'abaiſſe nonobſtant la prodigieuſe quantité de pierres que les torrens ne ceſſent d'y tranſporter.

Nous conſidérons enſuite les rivières priſes dans l'état où les eaux ſe mettent en équilibre avec les matières du fond. Le volume d'eau, la pente du lit & la groſſièreté des matières du fond, ſont les ſeuls élémens qui entrent dans cet examen, & c'eſt de leur combinaiſon que nous déduiſons toutes les variations du fond & les loix qu'il doit ſuivre. D'où nous concluons que le lit d'une rivière doit former une courbe aſſymptotique. Cette théorie nous fournit l'occaſion de parler des déverſoirs de barrage & des rétréciſſemens des rivières, ainſi que des effets qui réſultent des uns & des autres.

De-là nous paſſons à l'examen de la corroſion que les eaux exercent ſur le fond, & aux moyens de la provoquer & de la modifier à volonté : nous faiſons voir que l'équilibre entre l'action des eaux & la réſiſtance du fond exige, que par intervalle il ſe creuſe des gouffres avec contre-pente qui détruiſent l'effet de l'accélération, que la profondeur de ces gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente, & que leur diſtance eſt en raiſon inverſe de la pente; nous diſcutons toutes les variations que les rétréciſſemens produiſent ſur le fond

par

par la corrosion dont les effets peuvent être modifiés par des radiers, & nous en concluons ce grand principe qui sert de bâse à la réduction du lit des rivières, savoir : qu'*il suffit de les resserrer par intervalles pour les réduire.*

Nous examinons enfin les variations des rivières & leur action sur les bords. Après avoir prouvé qu'un lit trop large doit s'exhausser & porter le courant sur les bords, nous suivons son action sur ces mêmes bords dans toutes les hypothèses relatives, soit à leur nature, soit à leur direction, & nous démontrons que la propriété des berges obliques & incorrosibles est d'attirer le courant à elles sans le réfléchir. Nous terminons ce sujet par l'examen des causes qui divisent les rivières en plusieurs branches. A la suite de cet examen, nous indiquons le seul & unique moyen de détruire toutes ces causes.

Dans les rivières à fond de sable & de limon, nous suivons le même ordre que dans celles à fond de gravier. Nous démontrons d'abord qu'elles ont moins de pente ; que leur vîtesse est uniforme, & qu'elles sont moins variables que les autres. Ensuite, après avoir prouvé qu'il ne s'y creusera aucun gouffre d'équilibre, nous les envisageons dans le cas où on les rétréciroit, & nous en déduisons toutes les conséquences qui se rapportent aux rétrécissemens sur les rivières à fond de gravier. Nous parlons de la manière dont les isles

ſe forment dans leur lit, de l'action du courant ſur les bords & des cauſes qui en produiſent la diviſion. Enfin, nous traitons des dépôts qui ſe forment à l'embouchure dans la mer, & des inconvéniens qui en réſultent, ſur-tout dans la Méditerranée, où ils occaſionnent néceſſairement des marais & des plages très-dangereuſes.

La quatrième ſection a pour objet la théorie des torrens-rivières. On ſent bien que cette théorie eſt mixte; qu'elle ſe compoſe de celle des torrens & de celle des rivières, & qu'elle tient plus ou moins de l'une ou de l'autre, ſuivant que le torrent-rivière ſe rapprochera davantage du torrent ou de la rivière. Ainſi, ce que nous en avons à dire ſe réduit à prouver, que le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit, & à quelques réflexions relatives, ſoit aux gouffres requis par l'équilibre, ſoit à l'exhauſſement & à l'abaiſſement alternatif du lit par l'effet des crues.

Dans la cinquième & dernière ſection de cette partie de notre ouvrage, nous parlons des confluens des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Après quelques obſervations générales, dans leſquelles nous faiſons voir entr'autres choſes l'impoſſibilité de déterminer ailleurs que ſur un milieu très-peu réſiſtant, tel que la ſurface de la mer, la direction de la réſultance de deux courans qui ſe réuniſſent, nous examinons ſucceſſivement

les variations qui ont lieu par l'effet du confluent de deux torrens, d'un torrent & d une rivière ou d'un torrent-rivière, d'une rivière & d'un torrent-rivière, de deux rivières & de deux torrens-rivières; variations que nous déduifons des principes établis dans les fections précédentes.

La deuxième partie de notre ouvrage traite des moyens d'empêcher les ravages des torrens, des rivières & des torrens-rivières. Son objet, comme l'on voit, eft des plus intéreffans, & il mérite d'être difcuté avec le plus grand foin. Nous divifons cette partie en trois fections.

Dans la première fection nous expofons les moyens d'empêcher la formation & les ravages des torrens. La formation des torrens n'ayant lieu que fur le penchant des montagnes, on fent d'abord que le premier moyen de les prévenir eft d'empêcher la deftruction des forêts, & d'affigner un mode qui arrête l'arbitraire des défrichemens. Nous donnons fur ce dernier objet des idées & un plan dont nous croyons l'exécution très-utile à la chofe publique. Nous laiffons même à nos lecteurs le foin de juger fi ce plan ne mérite pas de fixer l'attention du corps légiflatif, & s'il ne feroit pas à propos de le fanctionner par une loi qui manque jufqu'à préfent à notre code rural. Nous parlons enfuite des moyens de détruire les torrens déjà formés, & des cas où cette deftruction eft impoffible.

Arrivés au bas des montagnes où ils fe font formés,

les torrens exigent des moyens particuliers pour être contenus dans leur lit & conduits jusqu'à la rivière destinée à les recevoir. Nous exposons ces moyens, ainsi que l'usage qu'on peut faire des radiers, lorsqu'on emploie des murailles.

La deuxième section traite des moyens de contenir dans leur lit les rivières & les torrens-rivières; elle se divise en deux chapitres.

Le premier chapitre ne parle uniquement que des digues à employer pour remplir l'objet dont il s'agit.

Nous considérons d'abord les digues par rapport à leur direction. L'objet des digues est de détourner le courant de l'endroit qu'on veut garantir; & pour cela elles doivent y produire des attérissemens qui rendent cet endroit plus élevé que le reste du lit de la rivière. Or, les attérissemens ne peuvent être formés que par des eaux mortes & stagnantes, ou qui du moins aient fort peu de vîtesse. D'où il suit que la direction à adopter pour les digues, est celle qui détruira le plus exactement la vîtesse du courant. Nous faisons voir, & tout le monde sent, que la digue parallèle ne détruisant aucune partie de la vîtesse, n'est pas propre à cet objet; qu'il en est de même des digues obliques, puisque leur propriété est d'attirer le courant au lieu de l'éloigner, & qu'elles doivent spécialement être employées à établir la prise d'eau des canaux de dérivation. D'où nous concluons qu'il n'y a que les digues

perpendiculaires, qui, détruisant complettement la vitesse du courant, aient la propriété demandée. Mais en même tems nous observons que ces digues exigent d'être accompagnées à leur à-bout d'un éperon qui leur soit perpendiculaire, & dont la plus grande longueur soit du côté d'amont. Nous prouvons que cet éperon produira au-devant de la digue, une digue d'eaux mortes qui la mettra à couvert de l'action du courant, & qui permettra de n'employer à sa construction que de la terre & du gravier. Le résultat de cette forme de digue est, qu'elles peuvent être construites avec la plus grande économie; qu'il se formera des attérissemens en amont & en aval; que ces attérissemens fortifieront la digue perpendiculaire; qu'ils auront lieu dès la première crue de la rivière; qu'ils ne pourront pas être en gravier, mais seulement en limon; & qu'enfin on pourra sous très-peu de tems les rendre à l'agriculture.

Nous passons ensuite aux diverses espèces de digues dont nous examinons le profil, les matériaux, la construction & les cas où l'on doit les employer.

Nous commençons par les digues perpendiculaires qui, par le moyen de l'éperon de leur à-bout, ne seront qu'en terre ou gravier, & dont nous développons la construction hors de l'eau & dans l'eau.

Viennent ensuite les digues à *pérés*, qu'on fait n'être que des levées en terre ou en gravier, & dont

le talus exposé à l'action des eaux est garni en pierres. Nous distinguons trois sortes de pérés, savoir : 1°. le péré en pierres d'appareil, en usage sur la Durance, & que nous nommons *péré en dalles ;* 2°. le péré en blocs, que nous appellons *péré en blocaille ;* 3°. le péré en pierres de moyenne ou de petite grosseur, auquel nous donnons le nom de *petit péré.*

Comme il est essentiel que dans les digues à pérés le talus soit toujours à l'abri de l'action des eaux ; nous prescrivons ce qu'il y a à faire dans tous les cas pour remplir cet objet, soit par la disposition des pierres composant les pérés, soit par le moyen des bermes dont nous donnons la description & les dimensions.

Les digues à pierres sèches succèdent aux digues à pérés. Après avoir donné la description de celles usitées dans la ci-devant Provence, nous indiquons les vices qu'elles renferment & la réforme qu'il convient d'y introduire.

Nous parlons ensuite des digues en mâçonnerie. Mais comme la construction de ces digues est extrêmement coûteuse, & qu'à raison de cela elles ne peuvent guères entrer dans notre plan, dont le but principal est l'économie à introduire dans les travaux, nous n'en disons qu'un mot en passant.

Après les digues en mâçonnerie, nous traitons des digues en gabions. On sait que les gabions sont des

cônes en clayonnage remplis de pierres ou de gravier. Nous faiſons voir les avantages & les inconvéniens de ce genre de digues.

Nous paſſons après cela à une ſorte de digues très-peu connue & cependant très-efficace. Ce ſont les digues par encaiſſement à claire-voie, uſitées ſur les torrens-rivières dans le département des Baſſes-Alpes, & dans quelques autres départemens des pays de montagnes. Après en avoir donné la deſcription & démontré la ſolidité, nous indiquons la manière d'en généraliſer l'uſage.

Nous ne paſſons pas ſous ſilence les digues en bois. Elles ont d'autant plus de mérite qu'elles ſont plus ſimples, & qu'il eſt rare qu'elles ne produiſent pas leur effet. Dans cette claſſe ſont : 1°. les arbres branchus coupés à demi ou arrêtés ſolidement avec des liens, & jettés ſur une berge corrodée. 2°. Les paliſſades avec des arbres ramés aux paremens, & dont les pieux ſont joints entr'eux avec des liernes ; 3°. les digues en clayonnage ; 4°. les *chevrettes* ou *chevalets*. Nous donnons la deſcription & les avantages de toutes ces ſortes de digues, & ſur-tout de celles à *chevalets* au ſujet deſquelles nous indiquons des réformes bien eſſentielles.

Les levées ou turcies en uſage le long des grandes rivières pour en contenir les hautes eaux, occupent auſſi une place parmi nos digues. Après en avoir expliqué

la conſtruction, nous donnons nos idées ſur les moyens de les fortifier & d'empêcher qu'elles ne ſoient percées.

Nous terminons ce chapitre par le réſumé général de toutes les digues dont nous avons parlé, & en indiquant les cas où on doit reſpectivement les employer.

Dans le deuxième chapitre nous appliquons l'uſage de ces digues à la réduction du lit des torrens-rivières & des rivières à fond de gravier. Cette réduction devient, d'après les principes précédens, de l'exécution la plus ſimple. Que par intervalles on rétréciſſe le courant en employant des digues perpendiculaires accompagnées de leur éperon, on les forcera à creuſer leur lit d'un rétréciſſement à l'autre, & d'exhauſſer en même tems leurs bords par des dépôts de limon qu'on pourra bientôt mettre en culture. Nous donnons à ce ſujet tous les développemens dont il eſt ſuſceptible.

Ce moyen s'applique auſſi aux rivières à fond de ſable & de limon. Mais comme aſſez généralement ces rivières ne préſentent pas de terrein à gagner, & qu'on ne les réduit que relativement à la navigation, nous renvoyons cet objet à la troiſième partie.

Enfin, dans la troiſième ſection nous parlons de l'uſage qu'on peut faire des digues perpendiculaires accompagnées d'éperons pour ſimplifier les travaux relatifs à la conſtruction des ponts ſur les rivières à fond

fond de gravier, & dont la largeur eſt fort conſidérable, comme par exemple, ſur la Durance.

La troiſième partie a pour objet la navigation, le hallage & la flottaiſon des rivières, & elle ſe diviſe en cinq ſections.

Dans la première ſection nous parlons de la navigation des rivières. Après avoir prouvé que, pourvu qu'il y ait profondeur d'eau, toute rivière à fond de ſable ou de limon eſt navigable à la voile, & qu'il en eſt de même des rivières à fond de gravier, lorſque la pente n'excédera pas 3 pouces 6 lignes ſur 100 toiſes, nous faiſons connoître les obſtacles qui y gênent la navigation, ſoit à leur embouchure, ſoit ſur leur cours. Les dépôts qui ſe forment aux embouchures ſont moins nuiſibles aux navires ſur l'Océan, à cauſe des marées. Mais ſur la Méditerranée ils néceſſitent impérieuſement la conſtruction de canaux particuliers. Nous citons à ce ſujet l'embouchure du Rhône, l'ancien canal conſtruit par Marius, & le projet d'un nouveau canal deſtiné à joindre le Rhône pris à la hauteur d'Arles avec le port de Bouc.

Nous faiſons voir enſuite qu'il faut réduire une rivière pour lui donner plus de profondeur d'eau, & que pour la forcer à creuſer ſon lit, il n'y a qu'à la rétrécir par intervalles, ainſi que nous l'avons déjà preſcrit pour les rivières à fond de gravier.

Nous indiquons les matériaux à employer & la forme à donner aux ouvrages, la manière de garantir, des

effets de la corrosion des eaux, les ouvrages d'art qui sont sur ces rivières, & celle d'éviter les ponts. Enfin, nous faisons connoître les avantages qui pourroient en résulter pour l'état.

La deuxième section traite du hallage des rivières. Nous donnons d'abord l'équation générale relative au hallage, soit de remonte, soit de descente; d'où nous tirons toutes les formules y relatives que nous traduisons en langage ordinaire. Cette équation nous donne la raison pour laquelle les rivières des pays de montagnes ne sont pas hallables, tandis que celles des pays de plaines le sont toujours. Nous examinons le cas où, à raison de la trop grande rapidité des eaux, il faut renoncer au hallage, & substituer des canaux latéraux aux rivières, ainsi que celui où l'on peut en barrer le lit pour les rendre hallables. Enfin, nous indiquons ce qu'il convient de faire pour augmenter la profondeur d'eau des rivières dont la pente est relative au hallage.

La troisième section a pour objet la flottaison des rivières. Après avoir expliqué la flottaison par radeaux, & à pièces perdues, & avoir établi en principe que *tout corps ou système de corps flottant ne doit jamais toucher le fond*, nous examinons les obstacles qui s'opposent à la flottaison, & nous en concluons, que pour l'établir il faut : 1°. réduire le lit des rivières; 2°. atténuer les gros quartiers de pierres qui peuvent s'y trouver; 3°. détruire les cataractes, s'il y en a.

Dans la quatrième ſection nous traitons de la navigation intérieure de la France ; projet depuis long-tems agité, & au ſujet duquel les bâſes ne ſont pas encore convenues. Après une diſcuſſion préliminaire ſur les facilités qu'a la France à cet égard, ſur les rivières conſidérées ſous leurs rapports commerciaux, ſur les grandes vallées, & ſur les cas où l'état doit ſe charger de l'exécution des projets en général, nous fixons les idées ſur ce qu'on doit réellement entendre par ce projet. Nous en traçons la route, & nous indiquons les ouvrages d'abſolue néceſſité à exécuter pour l'effectuer. A cette occaſion nous parlons des canaux de communication à conſtruire entre les grandes vallées contiguës ; ce qui nous conduit à quelques réflexions ſur les canaux ſouterrains, & en particulier ſur celui ci-devant de Picardie.

Enfin, l'objet de la cinquième ſection eſt la navigation à la voile par la Seine juſqu'à Paris, c'eſt-à-dire, de rendre Paris port maritime, en y faiſant aborder les vaiſſeaux qui s'arrêtent aujourd'hui à Rouen. Il n'y a perſonne qui ne ſente toute l'importance de ce projet, tant pour Paris pris individuellement, que pour le gouvernement dont elle eſt le centre. Mais en même tems on ſent qu'il ne faut abſolument rien donner au haſard, & qu'en décidant ſon exécution, non-ſeulement on doit être phyſiquement aſſuré de ſa réuſſite, mais encore qu'on doit connoître avec une

très-grande approximation les frais qui en résulteront, frais, d'ailleurs, qui doivent être les moindres possibles. Or, nos principes remplissent toutes ces vues.

En effet, nous démontrons que la Seine a le degré de pente relatif à la navigation à la voile, & que les nombreuses sinuosités, la multiplicité de ses isles & les divers ponts construits sur son cours, ne sont pas des obstacles qui puissent s'y opposer. Mais elle n'a pas la profondeur d'eau nécessaire, & c'est cette profondeur qu'il faut lui procurer, en employant les moyens les plus simples & les moins dispendieux.

Après avoir examiné succinctement divers projets relatifs au même objet, & démontré les inconvéniens désastreux qui résulteroient du redressement du lit de la rivière, nous fixons ce projet à la solution du problême suivant : *Forcer la rivière par les moyens les plus simples & les plus économiques à creuser son lit, & à prendre la profondeur d'eau nécessaire pour que dans le tems même des plus basses eaux les vaisseaux qui arrivent à Rouen puissent remonter à la voile jusqu'à Paris.* Or, ce problême est résolu par les principes déjà proposés pour la réduction des rivières à fond de gravier & de sable ou de limon.

Ainsi, il ne s'agit que de rétrécir le lit de la rivière par intervalles, pour la forcer à creuser à volonté tout le long de son cours ; & de venir à son secours aux endroits où le fond seroit incorrosible.

Nous exposons succinctement tout ce qui est relatif à la largeur & à la distance des rétrécissemens, à la nature & à la forme des ouvrages, aux précautions à prendre relativement aux digues de barrage, à la sûreté des édifices & au passage des ponts sur la rivière. Nous fixons le terme de la navigation en aval du pont de la Révolution. Nous indiquons pour port un grand canal à construire depuis l'Arsenal, ou à-peu-près, jusqu'à la barrière de la Conférence, en passant par les marais des fauxbourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c. Enfin, nous prouvons que ce procédé résout complétement le problême, & nous terminons ce sujet par des observations qui lèvent généralement toutes les difficultés.

Tel est le plan de l'ouvrage que nous publions. La théorie qu'il renferme, & qu'on peut réellement regarder comme la théorie usuelle, & par-là véritablement utile à la société, est, comme l'on voit, très-circonscrite & fort simple, & néanmoins elle satisfait à tout ce qui se rapporte aux travaux sur les torrens & les rivières, soit relativement à la réduction de leur lit pour gagner du terrein, soit relativement à la navigation, au hallage & à la flottaison. Un seul principe sert de base à l'application de cette théorie pour les rivières: c'est que, quelque soit l'objet qu'on se propose, il faut réduire leur lit; que pour cela il suffit de le resserrer par intervalles, & qu'il faut en général employer à ces rétrécissemens des digues perpendiculaires accom-

pagnées d'éperons parallèles à la direction qu'on doit donner au courant.

Cette théorie nous paroît neuve à bien des égards ; car si l'on parcourt les divers traités que nous avons sur les rivières, on s'appercevra facilement, comme nous l'avons déjà observé plus haut, qu'il seroit impossible d'en déduire un systême de réduction aussi simple & aussi général. On doit remarquer d'ailleurs que tout y est vérifié par des expériences directes ou par des observations.

En 1791, le citoyen Béraud, professeur de mathématiques & de physique expérimentale au collège de Marseille, publia un ouvrage intitulé : *Mémoire sur la manière de resserrer le lit des torrens & des rivières.* Comme dans cet ouvrage il est question des digues perpendiculaires avec des éperons d'accompagnement, & que les journaux du tems en avoient fait mention, nous croyons en devoir dire un mot en passant.

Étant liés d'amitié avec le citoyen Béraud, nous lui communiquâmes en 1785 notre premier manuscrit sur cet objet. Lorsque la révolution survint, il crut, pour des raisons d'avancement, devoir mettre au jour les idées qu'il avoit puisées dans cet ouvrage, mais qu'il n'avoit pas pu concevoir bien nettement. Du reste, cette production est informe & inapplicable à la pratique par la manière dont l'auteur y a traité les choses. Nous lui avons même prouvé dans des observations imprimées

en 1793, que son ouvrage ne contenoit que des assertions fausses ou des faits dénaturés, & qu'il n'avoit jamais conçu l'objet sur lequel il avoit voulu écrire.

Au reste, quoique notre théorie satisfasse à la réduction du lit des torrens & des rivières, ainsi qu'à la navigation, au hallage & à la flottaison, nous ne devons pas cependant nous dissimuler qu'elle peut être perfectionnée par des observations & des expériences plus nombreuses, & faites sur des courans multipliés qui diffèrent entr'eux par la pente & le volume d'eau. Mais pour cela il seroit essentiel que ces observations & ces expériences se fissent en un grand nombre d'endroits & d'après un plan suivi. En conséquence, nous croyons qu'il seroit à propos que le conseil des Ponts & Chaussées fît imprimer à cet égard un programme qui contiendroit le tableau des observations demandées, & la marche qu'on devroit suivre pour les faire. Ce programme seroit envoyé à tous les ingénieurs de département, avec recommandation de faire parvenir tous les ans au conseil, le résultat de leur travail sur cet objet. Par ce moyen on parviendroit bientôt à avoir une masse d'observations qui, rapprochées les unes des autres, nous feroient connoître les loix les plus approximatives de la véritable théorie des torrens & des rivières.

Nos lecteurs voudront bien observer que cet ouvrage a été entièrement rédigé pendant notre séjour

à Paris, qu'obligés de nous rendre à notre poſte, ce ſéjour n'a pas été auſſi long que nous l'aurions deſiré pour la perfection de cet eſſai, & qu'il eſt poſſible qu'il s'y rencontre quelques inexactitudes que nous pouvons néanmoins donner comme très-légères, & que nous eſpérons qu'on aura l'indulgence de nous pardonner.

Au ſurplus, comme il reſte encore beaucoup à faire & à découvrir dans cette partie, nous n'avons pas la témérité de croire que notre ouvrage ne laiſſe rien à deſirer. Mais nous nous flattons néanmoins, qu'en attendant que nous ſoyons éclairés par un plus grand nombre d'expériences, on pourra employer avec avantage la théorie que nous donnons au public.

ESSAI

SUR LA THÉORIE

DES TORRENS ET DES RIVIÈRES.

1. NOUS diviſerons cet ouvrage en trois parties. Diviſion de l'ouvrage.

Dans la première partie, nous traiterons de la théorie des torrens, des rivières & des torrens-rivières.

Dans la ſeconde, nous expoſerons les moyens de les réduire & d'en empêcher les ravages.

Dans la troiſième, nous parlerons de la navigation, du hallage & de la flotaiſon dont elles ſont ſuſceptibles.

PREMIÈRE PARTIE.

De la théorie des Torrens & des Rivières.

2. DANS cette partie, après avoir établi les notions préliminaires pour l'intelligence & la ſuite de cet ouvrage, nous traiterons ſucceſſivement des objets ſuivans; ſavoir: Diviſion de la première partie.

1°. De la théorie des torrens.

2°. De celle des rivières juſqu'à la mer.

3°. De celle des torrens-rivières.

4°. Enfin, des effets produits aux confluens des torrens, des rivières, & des torrens-rivières.

SECTION I.

Notions préliminaires.

§. I.

Observations sur les Montagnes.

L'étude des rivières exige la connoissance de la configuration des parties du globe.

3. LES divers élémens qui entrent dans la théorie des torrens & des rivières, dépendent essentiellement de la hauteur & de la nature des montagnes des pays parcourus dans leur cours; par conséquent il convient avant tout d'examiner la forme & la configuration de la partie de notre globe qui se trouve au-dessus du niveau des mers dont elle est entourée, ainsi que les révolutions qui paroissent y avoir eu lieu de la part des eaux; pour cela nous avons besoin de remonter à l'époque de la création de notre planète, & de consulter les monumens de la nature qu'on rencontre à chaque pas. Ce sera en suivant cette route que nous nous éclairerons sur cet objet.

Du reste, nous ne nous proposons pas de donner ici un traité de géologie, nous laissons ce soin aux savans naturalistes qui voudront traiter ce sujet, *ex professo*. Quant à nous, il nous suffira de recueillir diverses observations, desquelles nous tirerons des inductions analogues à notre objet.

Abaissement du niveau des eaux de la mer d'environ 230 toises.

4. Il est constant que, parmi les pierres connues sous le nom général de *pierres tendres*, dans la classe des pierres calcaires, la plupart ne sont qu'un assemblage d'une infinité de petits coquillages, parmi lesquels se trouvent assez fréquemment mêlées des coquilles d'huître & d'autres productions marines. Nous pourrions en citer un grand nombre

d'exemples, mais nous nous contenterons d'indiquer la barre qui traverse le chemin d'Aix à Apt, au haut de la montagne entre Cadenet & Lourmarin, dans le département de Vaucluse. L'on sent bien que la formation d'un amas aussi considérable de pareils coquillages a exigé que la mer y séjournât pendant un très-long espace de tems : car il est visible que la chose n'auroit pas pu s'effectuer pendant le court intervalle que l'histoire de Moïse accorde au déluge. Or, les plus hautes carrières de cette nature que nous avons rencontrées ne sont qu'à environ 230 toises au-dessus du niveau actuel de la mer. Donc, la mer a couvert pendant long-tems toutes les terres qui sont aujourd'hui à 230 toises au-dessus de son niveau, & puisque supérieurement à ce terme il ne se rencontre aucun amas pareil de dépouilles marines, mais seulement quelques pétrifications isolées & éparses çà & là, il s'ensuit qu'on doit regarder la hauteur de 230 toises ou environ, comme le point au-delà duquel les eaux de la mer n'ont fait qu'un séjour de peu de durée à la suite de quelque grand bouleversement dans l'ordre de la nature.

5. L'observation suivante prouve pareillement que dans un tems le niveau des eaux de la mer étoit beaucoup plus élevé qu'il n'est aujourd'hui. En parcourant les vallées au fond desquelles se trouvent des rivières qui charrient du gravier, on trouve ordinairement des cailloux roulés, & souvent le gravier pur de ces rivières, a une très-grande hauteur au-dessus de leur lit actuel. Il a donc existé une époque où le lit de ces rivières étoit beaucoup plus élevé qu'il n'est aujourd'hui. Or, on verra par la suite de cet ouvrage que, toutes choses supposées égales, la hauteur de l'embouchure des rivières fixe celle de tous les points de leur cours. D'ailleurs, quiconque est observateur aura pu remarquer, & nous le démontrerons plus bas, qu'en barrant le lit d'une rivière par un *déversoir*,

ce lit s'exhausse en amont à proportion de la hauteur de ce déversoir, & qu'au contraire il s'abaisse si ce déversoir est détruit. D'où l'on concluera évidemment qu'on aura le même effet en substituant la mer au déversoir. Donc, puisque le lit de toutes les rivières a été autrefois beaucoup plus élevé qu'il n'est à présent, il s'ensuit que dans un tems les eaux de la mer s'élevoient beaucoup au-dessus de leur niveau actuel.

6. Nous n'entreprendrons pas d'examiner quelle est la cause de l'abaissement des eaux de la mer. Cette question est bien plus du ressort de l'histoire naturelle que de l'hydraulique. Il nous suffit d'avoir exposé le fait & d'en avoir rapporté les preuves. Quant aux causes, nous les regardons comme étrangères à notre objet, & nous en abandonnons la recherche à ceux qui auront la curiosité de s'en occuper.

Discussion sur l'origine des montagnes.

7. Si les plus hautes montagnes de notre globe n'avoient pas au-delà de 230 toises de hauteur perpendiculaire au-dessus du niveau actuel des eaux de la mer, nous pourrions conclure, avec certitude, que lors de la création, ces eaux couvroient absolument toute la superficie de la terre; mais nous trouvons répandues par-tout des masses énormes de montagnes dont les sommets s'élèvent à une bien plus grande hauteur. Telles sont entr'autres dans l'ancien continent les Pyrénées, les Alpes, & leurs ramifications; le Caucase, le mont Atlas, &c.; & dans le nouveau, les Cordillières, les Apalaches, &c. Les cordillières, par exemple, dans le Pérou, ont au-delà de 3,000 toises. Ces montagnes, aujourd'hui divisées en une infinité de pics & de pointes excessivement variées, accompagnées de déchiremens, & de précipices sans nombre, qui ne présentent presque par-tout que l'image du désordre & du bouleversement; ces montagnes, disons-nous, étoient-elles dans l'origine telles que nous les trouvons à présent? C'est une question que nous allons tâcher de résoudre; question

qu'on ne doit pas regarder comme oiseuse & de pure curiosité; car nous verrons par la suite que sa solution se lie avec la théorie des torrens & des rivières.

8. Il est naturel de croire que dans l'origine des choses le créateur a consolidé la charpente de son édifice par un degré de stabilité au-delà du terme de l'équilibre. Il a donc dû donner un pareil degré de solidité aux montagnes pour empêcher qu'elles ne s'écroulassent d'elles-mêmes. Ce degré de solidité dans les montagnes dépend essentiellement de l'empâtement de leur base, ou ce qui est la même chose, de l'inclinaison de leur talus relativement à l'horison ou à la ligne du niveau; or, l'angle d'équilibre pour les terres est de 45 degrés, & il est moindre pour les sables. Donc puisque les observations nous prouvent que dans une infinité de cas les rochers qui couronnent nos montagnes portent sur des matières terrestres, il s'ensuit que dans l'origine le penchant des montagnes devoit former avec l'horison un angle moindre que 45 degrés; mais il est très-rare que les montagnes prises dans leur état actuel, n'aient pas quelqu'une de leurs faces dont la déclivité ne soit plus ardue, & ne fasse avec la ligne de niveau un angle sensiblement plus grand que 45 degrés; donc un pareil état de choses n'a pas été primordialement établi par le créateur.

D'autre part, il est constant par l'expérience journalière que ces dégradations sont habituellement produites par les pluies, les avalanches, le gel & dégel, &c.; & il n'y a personne d'un certain âge qui ne se soit apperçu des progrès des désordres produits par ces causes; donc, puisque ces effets augmentent journellement, il est visible qu'en rétrogradant vers l'époque de la création, ils doivent toujours décroître. Donc, lors de la création, ces causes n'ayant pas encore agi, ces effets ne devoient pas subsister.

Ainsi, il paroît démontré de toutes les manières, que

lors de la création les montagnes n'étoient point dégradées ni séparées par des vallées comme elles le sont aujourd'hui, puisque tous ces effets ont été produits par des causes qui n'ont pu agir que postérieurement à cette époque, & que d'ailleurs dans une infinité d'endroits les pentes existantes sont même incompatibles avec la stabilité.

9. Puis donc qu'il n'y avoit alors dans les chaînes de montagnes ni dégradation ni division par des gorges ou vallées, il est bien naturel de croire que chacune de ces chaînes ne formoit qu'une seule et même masse plus ou moins convexe, mais supérieure à la mer, & que cette convexité se propageoit dans tous les sens par une pente plus ou moins forte jusqu'à la superficie des eaux qui couvroient la partie restante du globe. L'observation suivante le prouve d'ailleurs assez.

En effet, qu'on prenne la crête ou ligne culminante de toutes les chaînes de montagnes, on verra que tant d'un côté que de l'autre il se trouve une infinité d'autres montagnes moins élevées que celles de la crête, dont le sommet décroît continuellement de hauteur, ou s'abaisse progressivement à mesure qu'on s'avance de toutes parts vers la mer, ou qu'on s'éloigne de la partie culminante du noyau; d'où l'on concluera, qu'avant que ces masses fussent déchirées & sillonnées par les profondes vallées que nous y remarquons, les divers plans dont l'assemblage formoit leur convexité primitive, passoient à-peu-près par les sommets des différentes montagnes partielles résultantes de toutes les dégradations & de tous les déchiremens qui ont eu lieu depuis l'époque de la création : plans qui par conséquent étoient tous inclinés vers la mer.

10. Si l'abaissement total du niveau des eaux de la mer s'étoit opéré tout à la fois, ou du moins dans un très-court intervalle de tems, on auroit sans doute remarqué que la

ſuperficie des terres abandonnées par cette retraite des eaux, formoit à-peu-près la ſuite des plans inclinés qui terminoient primordialement la convexité des maſſes de chaînes de montagnes. Mais cet abaiſſement ne s'étant opéré que progreſſivement & par degrés inſenſibles, les cauſes qui ont dégradé la convexité de ces maſſes ont dû néceſſairement agir ſur les délaiſſemens de la mer à meſure qu'ils ſe découvroient, & c'eſt auſſi ce que les obſervations nous prouvent.

11. L'on voit donc que par l'abaiſſement progreſſif du niveau des eaux de la mer, l'étendue des continens doit habituellement s'accroître, nonobſtant la corroſion que ces eaux exercent en pluſieurs endroits ſur les côtes; car les corroſions ſe manifeſtent toujours par des eſcarpemens qui n'ont guères lieu qu'aux endroits élevés, et où les progrès de la mer s'opèrent très-lentement. Mais cet abaiſſement du niveau des eaux n'eſt pas la ſeule cauſe qui produiſe un pareil effet. Il y en a deux autres qui agiſſent d'une manière bien plus ſenſible.

Accroiſſement de la ſurface des continens.

La première de ces cauſes eſt l'action de la marée, qui en pluſieurs contrées, ſuivant la diſpoſition des lieux et la direction, ſoit des vents, ſoit des courans, éjecte continuellement ſur les côtes, des ſables, des galets, &c. Ces matières étrangères accumulées, exhauſſent inſenſiblement la grève, qui à l'aide, ſoit de l'induſtrie humaine, ſoit des cauſes qui agiſſent naturellement ſur la partie ſèche des continens, devient enfin ſupérieure aux ſubmerſions maritimes. Nous en avons l'exemple en pluſieurs endroits des côtes de France ſur l'Océan.

La ſeconde de ces cauſes conſiſte dans l'action des fleuves et des rivières à leur embouchure dans la mer. On ſait que dans les pluies, les eaux des fleuves et des rivières perdent leur limpidité, & que cet effet eſt occaſionné par le mélange des terres qu'elles détachent des montagnes et de tous les endroits en pente. Ces matières ſont donc charriées par

les eaux qui les tiennent en diſſolution par leur mouvement, & qui les pouſſent à leur embouchure vers l'intérieur de la mer. Mais d'un autre côté, la mer, par ſon agitation continuelle & par ſa réaction, tend à les repouſſer & à les rejetter vers la côte. Elles ſeront donc dépoſées à l'endroit où il y aura équilibre entre la force du courant du fleuve et la réaction des eaux de la mer; & c'eſt-là qu'elles formeront des barres ou des iſles, ſuivant les circonſtances & les localités.

L'embouchure du Rhône nous offre un exemple bien remarquable de la rapidité de ce genre d'attériſſemens. On ſait qu'il y a environ quatre-vingt-cinq ans ce fleuve abandonna ſon ancien lit appellé *Bras de Fer*, pour ſe jetter dans le canal des Lônes, où il s'eſt maintenu juſqu'aujourd'hui. A cette époque, on conſtruiſit à ſon embouchure même la tour Saint-Louis. Or, depuis lors, cette embouchure s'eſt avancée dans la mer juſqu'à environ 3000 toiſes au-delà de cette tour qui peut conſtamment ſervir de terme de comparaiſon pour connoître les progrès des attériſſemens ſur cette plage.

Degré de pente de ces accroiſſemens.

12. Les terres qui compoſant la convexité des maſſes primitives des montagnes, ont été dès l'origine ſupérieures au niveau des eaux de la mer, & celles que ces eaux ont laiſſées à ſec en s'abaiſſant, ont toutes un degré de déclivité bien ſenſible; & ce degré eſt plus ou moins conſidérable ſuivant la hauteur des montagnes primitives & leur diſtance aux côtes. Mais il n'en eſt pas de même des attériſſemens dont nous venons de parler (11). Ces attériſſemens ont en général très-peu de pente. Il arrive même ſouvent que non-ſeulement ils n'en ont point du tout, mais même qu'il y a contre-pente. Dans ce dernier cas, il doit s'y former des marais, & c'eſt ce qui a particulièrement lieu dans les attériſſemens produits par la première cauſe, ainſi que l'expérience ne le prouve que

que trop ſur les côtes occidentales de la France. Lorſqu'au contraire ces attériſſemens ne ſont pas en nature de marais, & que par conſéquent ils ont une certaine pente, cette pente eſt relative aux alluvions des fleuves & des rivières qui en ont produit l'exhauſſement par des dépôts de limon. Mais les eaux de ces fleuves ou rivières en ayant elles-mêmes très-peu en ces endroits, il eſt viſible que par leurs dépôts elles ne peuvent en donner qu'à proportion de la leur, aux attériſſemens dont nous parlons.

Dégradation des montagnes par les fondrières.

13. Nous verrons dans le courant de cet ouvrage de quelle manière les eaux des terres & des rivières ont dégradé les maſſes primitives, ainſi que les montagnes partielles qui en ſont réſultées. Mais cette cauſe n'eſt ni la ſeule ni la principale qui ait produit les grandes dégradations. Ces dégradations proviennent ordinairement des fondrières qui forment ces précipices affreux dont les flancs des montagnes ſont ſi ſouvent déchirés; & ces fondrières réſultent communément du gel & du dégel, ainſi que des avalanches qui en ſont la ſuite.

En effet, ſuppoſons qu'une montagne déjà aſſez ardue par l'action des eaux pluviales ſoit couverte d'une couche de neige d'une certaine épaiſſeur, & qu'aux approches du printems, la neige ſuperficielle fonde par l'action du ſoleil, les eaux qui proviendront de cette fonte pénétrant juſqu'à la ſurface du terrein, détruiront l'adhéſion qui exiſtoit entre la terre & la neige, & faiſant les fonctions de rouleaux qu'on met ſous les grands fardeaux pour les faire mouvoir, elles provoqueront la chûte de la neige ſur le penchant de la montagne. Or, on ſent que dans cette chûte la maſſe de la neige s'accroît continuellement : qu'il en eſt de même de la vîteſſe & de la quantité de ſon mouvement qu'on ſait être le produit de la maſſe par la vîteſſe, & que par cette prodigieuſe augmentation de force une partie des terres, & même des pierres & des rochers de la montagne doit en être détachée

pour être entraînée pêle-mêle avec les neiges de l'avalanche: ce qui est parfaitement conforme à l'expérience.

Cause des fondrières.

14. Il n'est pas même nécessaire dans bien des cas que les montagnes se couvrent de neige pour être ainsi dégradées. La simple action du gel & du dégel suffit. On sait que le gel & le dégel rendent les terres extrêmement friables, qu'ils attaquent même les pierres, les fendillent & les atténuent. Que, dans cet état de choses, il survienne une forte pluie, il est visible que les eaux entraîneront tout ce qui sera détaché de la masse & dégraderont la montagne par-tout où le gel & le dégel auront exercé leur action. Or le dégel depend, ainsi que les avalanches, de l'action plus ou moins forte du soleil, & cette action étant, toutes choses d'ailleurs égales, proportionnelle à sa durée, on sent bien qu'elle dépend, par là-même, de l'exposition & de la direction du penchant de la montagne qui la reçoit. Il nous reste donc à fixer cette exposition & cette direction.

Quelles sont les limites des fondrières.

Fig. 1ere.

15. La fonte des neiges s'opérant sur les montagnes, particulièrement aux environs de l'équinoxe du printems, c'est surtout dans cette saison qu'arrivent les éboulemens & les avalanches. Or, à cette époque, l'atmosphère étant encore refroidie par les frimats de l'hiver, cette fonte ne peut guères s'opérer efficacement que par l'action continue du soleil pendant huit ou neuf heures. Tirons donc dans le cercle E S O N (*fig.* 1re.) les deux diamètres O E & N S qui, se coupant à angles droits, sont supposés se diriger respectivement vers les quatre points cardinaux est, ouest, nord & sud, désignés sur la figure par leurs lettres initiales respectives. Le soleil sera censé se lever en E & se coucher en O. Soient C A & C B les directions extrêmes des faces des montagnes à l'est & à l'ouest qui pourront recevoir, sans interruption, l'action des rayons solaires, pendant huit heures ou environ, dans le courant de la journée. Comme il n'est question ici que d'une approximation, même fort grossière, il seroit ridicule d'employer l'échafaudage des

calculs de la trigonométrie ſphérique pour déterminer la valeur des arcs horaires pris à l'horiſon E S O N. Nous ſuppoſerons donc ſimplement que ces arcs ſont les mêmes que leurs correſpondans ſur l'équateur, c'eſt-à-dire, chacun de 15 degrés.

Le ſoleil ſe levant à ſix heures, arrivera à dix heures au point F & à deux heures du ſoir au point D. Les arcs E D & F O ſeront donc chacun de huit heures. Par conſéquent, pour que les faces tournées du côté du ſoleil puiſſent recevoir ſes rayons pendant cet eſpace de tems, il faut que C D & C F ſoient reſpectivement les prolongemens de C A & C B. Il ne s'agit donc plus que d'évaluer, d'après cela, les angles N C A & N C B formés par ces deux lignes & par la ligne N C dirigée nord & ſud.

Les arcs ED & FO étant chacun de huit heures, vaudront chacun 120 degrés. Donc, les arcs AE & BO qui ſont leurs ſupplémens, vaudront chacun 60 degrés; mais ces deux derniers ont pour complémens les arcs AN & BN reſpectivement. Donc les angles N C A & N C B ſeront chacun de 30 degrés.

Donc ſi l'on a une montagne dont la crête ſinueuſe forme une portion quelconque de polygone, *toutes les faces tournées du côté du ſoleil & correſpondantes aux portions de la crête qui feront avec la ligne nord & ſud des angles au-delà de 30 degrés, ſeront ſujettes aux dégradations que produiſent les avalanches & les éboulemens; & elles ne ſeront qu'accidentellement dans ce cas, lorſque cet angle ſera au-deſſous de 30 degrés.*

16. De-là nous concluerons que les penchans des montagnes poſtérieurs & oppoſés à ceux dont nous venons de parler, ne ſeront que caſuellement ſujets à ces dégradations. Car pour cela, devant éprouver l'action du ſoleil pendant environ huit heures, il faudroit que cet aſtre reſtât au moins ſeize heures ſur l'horiſon; & ſi la montagne étoit dirigée ſuivant O E, il faudroit qu'il y reſtât vingt-quatre heures; ce qui n'eſt pas poſſible. Il eſt vrai que dans ce cas le ſoleil

peut éclairer pendant assez long-tems les revers de ces montagnes. Mais comme ce n'est qu'en les effleurant & d'une manière très-oblique, l'action de ces rayons y devient à-peu-près nulle.

Toutes les montagnes sont en pente douce du côté du nord.

17. Nous pouvons donc dire en général, que les montagnes qui nous paroissent les plus ardues, ont toujours au moins une de leurs faces qui est en pente douce, & que cette face est constamment tournée du côté du nord & opposée au soleil. C'est ce que nous avons toujours remarqué dans la partie des Alpes comprise dans la ci-devant Provence. Ceux qui ont parcouru les montagnes de la Suisse, des Pyrénées, &c. peuvent aussi avoir fait de semblables observations.

Les ouvrages publics doivent être construits sur les faces qui regardent le nord.

18. Supposons à présent qu'une rivière bordée de chaque côté par une chaîne de montagnes qui ne laissent à-peu-près que l'espace nécessaire au passage des eaux, ait sa direction du nord-est au sud-ouest, & qu'il faille de nécessité placer un ouvrage d'utilité publique, tel, par exemple, qu'un chemin, dans cette vallée, ainsi que la chose arrive journellement dans les pays de montagnes. L'angle formé par cette direction & par la ligne nord & sud excédant 30 degrés, on peut être persuadé (15) que la face de cette vallée qui regarde le soleil sera assez généralement dégradée; tandis qu'il n'en sera pas de même de celle qui sera du côté du nord (16). Or dans ce cas, on voit évidemment que si l'on place l'ouvrage à construire sur la première face, il sera exposé à être fréquemment ruiné, & qu'on ne courra pas les mêmes risques en l'établissant sur la face qui regarde le nord.

Utilité de ces observations pour la tactique.

19. Ces observations peuvent être aussi de la plus grande utilité dans la tactique. Qu'il s'agisse, par exemple, d'aller attaquer l'ennemi retranché au haut d'une montagne qui n'offre que des précipices, on doit être assuré, par tout ce que nous avons dit à ce sujet, que la face du nord sera

acceſſible , & que c'eſt de ce côté qu'il faudroit diriger l'attaque.

Et pour faire connoître les projets aux Adminiſtrations.

20. Ces mêmes obſervations peuvent auſſi faciliter dans une infinité de cas la dreſſe des projets des ingénieurs, & diriger d'une manière aſſez sûre le jugement des Adminiſtrations, car il ne faut avoir pour cela qu'une carte bien détaillée, qui préſente exactement les montagnes & les vallées des localités ; en comparant la direction de ces montagnes avec la ligne nord & ſud, on pourra, ſans ſe porter ſur les lieux, prévoir & préjuger les obſtacles & les facilités, du moins juſqu'à un certain point.

Exception à la règle ſur les limites des fondrières.

21. Nous avons dit (15 & 16) qu'il étoit poſſible que caſuellement & accidentellement les penchans à l'abri des dégradations ſolaires par leur direction, & leur poſition vers le nord n'en fuſſent pas quelquefois exempts. Suppoſons en effet d'une part, que par l'action d'une rivière qui en corrodera la baſe, & à la ſuite de défrichemens mal entendus, ces penchans ſoient parvenus à un certain degré de déclivité ; & de l'autre, qu'il y ait en divers endroits des filtrations de ſources, il eſt viſible que dans ce cas ces penchans ſeroient dans la claſſe de ceux dont nous avons parlé (13), avec cette différence que les éboulemens toujours occaſionnés par les eaux, ſeront de terre & non de neige, & qu'ils auront ſurtout lieu après les longues pluies. Mais ce cas eſt particulier, & ne peut être regardé comme une preuve contraire à ce que nous avons dit.

22. Quoique les fondrières ne ſe rapportent pas directement aux dégradations qui ont été produites ſur les maſſes de montagnes, par les torrens & les rivières ; cependant, comme cet objet tient à la déclivité des montagnes ; que cette déclivité eſt un des élémens de la théorie des torrens & des rivières ; que d'ailleurs, ce même objet a un très-grand rapport avec les travaux du reſſort du génie, & que perſonne,

que nous ſachions, n'en a parlé juſqu'à préſent, nous avons cru, d'après ces motifs, devoir l'expoſer dans cet ouvrage, comme pouvant être utile dans un grand nombre de cas, & ſur-tout, lorſqu'il s'agit de la conſtruction de chemins dans les pays de montagnes.

Nous allons à préſent parler de l'origine des ſources & des fontaines, dont les eaux réunies forment les fleuves & les rivières.

§. II.

De l'origine des Sources & des Rivières.

L'air & la chaleur ſont les principaux agens des ſources.

23. Ce ſujet a déjà été traité fort au long & dans le plus grand détail, par un grand nombre d'auteurs, parmi leſquels on diſtingue ſur-tout Mariotte : ainſi, nous n'en dirons que deux mots en faveur de ceux de nos lecteurs qui n'auront pas encore des connoiſſances exactes à cet égard.

L'air & la chaleur étant les deux agens principaux qui coopèrent à la formation des ſources, il eſt eſſentiel d'établir, avant tout, quelques principes qui s'y rapportent, & qui ſervent de baſe à cet objet.

L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.

24. *L'air eſt eſſentiellement néceſſaire à la vie.* Les expériences multipliées qu'on a faites, par le moyen de la machine pneumatique, ne laiſſent aucun doute à cet égard. Qu'on mette un oiſeau, ou tout autre animal, ſous le récipient, & qu'on faſſe enſuite le vuide, on verra bientôt cet animal expirer.

L'air enveloppe tout le globe.

25. *L'air eſt répandu tout autour du globe terreſtre.* Car les voyageurs ſont montés au ſommet des plus hautes montagnes; donc (24) il y avoit de l'air. D'ailleurs, la même choſe eſt prouvée par les voyageurs aériens, qui, de nos jours, ſe ſont élevés à de très-grandes hauteurs, par le moyen des aéroſtats.

L'air, ainſi répandu autour de la terre, forme ce que nous appellons l'*atmoſphère*.

26. *L'air eſt un fluide compreſſible & élaſtique.* Les ballons à jouer en ſont une preuve à la portée de tout le monde. On ſait que ces ſortes de ballons ſont remplis d'air comprimé, & l'on voit qu'en tombant à terre, ils ſe relèvent à pluſieurs repriſes.

L'air eſt compreſſible & élaſtique.

27. *Le poids d'une colonne d'air de l'atmoſphère eſt égal à celui d'une colonne d'eau de même baſe & de 32 pieds de hauteur.* La preuve en eſt, que dans les pompes aſpirantes, l'eau qui monte par la ſeule preſſion de l'air, ne s'élève que juſqu'à cette hauteur.

Poids d'une colonne d'air.

28. D'où il ſuit que *l'air eſt un fluide peſant.* Car (27) ſi la colonne entière a un poids, les parties intégrantes doivent auſſi en avoir un, puiſque le poids du tout ſe compoſe de celui des parties.

Donc l'air eſt un fluide peſant.

29. L'expérience prouve que le poids de l'air, pris à la ſurface de la terre, n'eſt qu'environ que la huit centième partie de celui de l'eau : d'où on conclut que le pied cube d'eau peſant ſoixante-dix livres, *le pied cube d'air pèſe à-peu-près 1,4 onces.*

Poids d'un pied cube d'air à la ſurface de la terre.

30. *La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface de la terre.* Soient ABCD (*fig.* 2.) la ſurface de la terre, & A'B'C'D' la ſurface préſumée de l'atmoſphère. Partageons l'air de l'atmoſphère en une infinité de couches concentriques à la terre, & déſignées par les nombres naturels 1 2 3 4, &c. chaque couche ſera chargée du poids de toutes les couches ſupérieures. Donc la couche 1 ſera plus chargée que la couche 2 ; celle-ci plus que la couche 3, & ainſi de ſuite. Mais (26) l'air eſt compreſſible. Donc, plus il ſera chargé, plus il ſera comprimé, & plus il aura de denſité : donc les couches inférieures ſeront plus denſes que les couches ſupérieures, & par conſéquent la denſité de l'air doit continuellement décroître en s'élevant au-deſſus de la ſurface de la terre.

La denſité de l'air décroît en s'élevant au-deſſus de la ſurface du globe.

Fig. 2e.

L'expérience vient à l'appui de cette démonſtration. Ceux qui ſont montés au ſommet des plus hautes montagnes, ou qui

ſe ſont élevés à une très-grande hauteur par le moyen des aéroſtats, ſe ſont apperçus que leur reſpiration y étoit gênée; ce qui ne pouvoit avoir lieu que par un excès de rareté dans l'air.

Conſéquence qui en réſulte pour l'aſcenſion des corps légers.

31. Donc, *ſi un corps eſt ſpécifiquement plus léger que la couche d'air dans laquelle il ſe trouve, il s'élevera juſqu'à ce qu'il ſoit parvenu à la couche de même denſité.* La choſe eſt démontrée par les principes d'hydroſtatique. En effet, un corps plongé dans un fluide, perd autant de ſon poids que pèſe le volume de fluide déplacé. Donc, ſi le corps pèſe moins qu'un pareil volume de fluide, il ſera pouſſé de bas en haut par le fluide, avec une force égale à la différence des poids: donc le corps ne s'arrêtera que lorſque cette différence ſera nulle; c'eſt-à-dire, lorſqu'il ſera parvenu à une couche de même peſanteur ſpécifique.

La choſe eſt d'ailleurs prouvée par l'aſcenſion des ballons aéroſtatiques qui s'élèvent par l'action du feu. Ces ballons montent juſqu'à la hauteur des couches d'air, dont la denſité eſt telle que le volume déplacé pèſe autant que le ſyſtême; mais ils deſcendent à meſure que la chaleur diminuant, l'air entre dans la machine, & le ſyſtême devient plus peſant.

La chaleur convertit l'eau en vapeurs.

32. *L'action du feu ou la chaleur convertit l'eau en vapeur.* On ſait, en effet, par expérience, que la chaleur dilate tous les corps; elle doit donc produire, & elle produit réellement le même effet ſur l'eau.

C'eſt auſſi ce qui eſt amplement prouvé par toutes les opérations chimiques. Mais comme ces opérations ne ſont pas connues de tout le monde, & que nous voulons nous mettre à la portée de tous nos lecteurs, nous allons citer un exemple qui n'eſt ignoré de perſonne.

Qu'on mette ſur le feu un vaſe avec de l'eau, & qu'on couvre ce vaſe d'un couvercle, auſſi-tôt que la chaleur commence à ſe faire ſentir à l'eau, on s'appercevra que le deſſous du couvercle devient

devient humide : or, cette humidité ne peut provenir que de l'eau contenue dans le vaſe, & qui s'élève en vapeur.

33. *Si l'eau contenue dans le vaſe eſt mêlée avec des parties hétérogènes, ces dernières reſteront dans le vaſe, & l'eau ſeule s'évaporera.* C'eſt ce qu'on voit évidemment, dans le cas où le vaſe dont nous venons de parler ſeroit une caſſerolle contenant un ragoût quelconque : l'eau ſeule s'attache à ſon couvercle.

L'eau s'évapore ſans mélange de parties hétérogènes.

34. *L'action du ſoleil produit ſur l'eau le même effet que celle du feu.* Car les rayons ſolaires ſont toujours accompagnés d'une certaine chaleur. Cette chaleur doit donc opérer le même effet que celle du feu, dont nous venons de parler (32 & 33).

L'action du ſoleil convertit l'eau en vapeurs.

On peut d'ailleurs s'en convaincre par l'expérience. Qu'on expoſe au ſoleil un vaſe avec de l'eau, on s'appercevra que le volume de cette eau diminuera d'autant plus que la chaleur du ſoleil ſera plus grande.

35. *L'eau convertie en vapeurs, peut occuper un volume* 14000 *fois plus grand que dans ſon état naturel.* La choſe eſt démontrée par des expériences qu'on trouve dans tous les ouvrages de phyſique. Nous obſerverons ſeulement ici que le volume de l'eau convertie en vapeur eſt d'autant plus grand, que la chaleur eſt plus forte ; ce qui eſt naturel, les effets étant toujours proportionnels aux cauſes qui les produiſent.

Volume de l'eau convertie en vapeurs.

36. Nous avons dit ci-deſſus (29) que la peſanteur ſpécifique de l'eau priſe dans ſon état naturel eſt à celle de l'air priſe à la ſurface de la terre :: 1 : 800 ou à-peu-près donc :

L'eau convertie en vapeur s'élève dans l'athmoſphère.

1°. Si l'eau convertie en vapeur prend un volume de 800 fois plus grand que celui qu'elle a dans ſon état naturel, elle ſera, dans ce nouvel état, de même denſité que l'air ambiant avec lequel elle ſe mêlera alors néceſſairement : car telle eſt la propriété de deux fluides de même denſité.

2°. Si cette eau prend par l'évaporation un volume plus conſidérable, elle doit s'élever à travers les couches d'air qui ſeront plus denſes de la même manière, que l'huile, par

exemple, s'élève à travers l'eau; & elle montera jusqu'à la hauteur de la couche qui sera de même densité (30 & 31).

La moindre chaleur suffit pour l'évaporation de l'eau.

37. *L'eau n'a besoin que d'un très-petit degré de chaleur pour prendre le volume relatif à l'évaporation.* C'est encore une observation que tout le monde peut faire. On verra que dans le vase mentionné ci-dessus (32) l'humidité se manifeste au-dessous du couvercle avant que l'eau soit parvenue à l'état de tiédeur.

L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.

38. *L'action du vent produit aussi l'évaporation de l'eau.* Pour le démontrer, supposons une superficie déterminée couverte d'eau. Le vent n'étant autre chose que l'agitation de l'atmosphère, renouvellera continuellement la colonne d'air qui répond à cette superficie, & en même tems il atténuera & divisera les parties d'eau les plus exposées à son action. Ces particules ainsi atténuées deviendront plus légères que la couche d'air contigu, & s'élèveront dans l'atmosphère.

Si l'on veut s'en assurer par l'expérience, qu'on expose au vent un vase découvert & plein d'eau; on ne tardera pas de s'appercevoir de l'évaporation, par l'abaissement de la superficie de cette eau.

D'autre part, qu'on jette les yeux sur l'horizon; on le verra bien plus chargé de vapeurs par un tems couvert, que par un tems calme.

L'évaporation des eaux sur la surface du globe forme les nuages & les pluies.

39. Ces principes préliminaires posés, il nous sera aisé d'expliquer l'origine des eaux qui alimentent nos sources & nos rivières.

Les eaux couvrent la plus grande partie de la surface de notre globe, soit par la mer, soit par les lacs, les étangs, & les marais; soit enfin par les fleuves & les rivières. Les parties superficielles de ces eaux étant immédiatement exposées à l'action des rayons solaires & des vents, sont converties en vapeurs, (34, 37 & 38) & elles s'élèvent à une certaine hauteur dans l'atmosphère (36 2°.) sans aucun mélange de parties salines

ni étrangères quelconques (33). C'eſt-là que ſuivant la nature & la direction des vents qui règnent dans cette région de l'air, ces vapeurs ſe condenſent, forment des nuages, & devenant plus peſantes que l'air, tombent ſur la ſurface de la terre, tantôt ſous la forme de pluie douce, tantôt par *averſe*, et ſous la forme d'orage, ſelon les circonſtances & l'état de l'atmoſphère. Telle eſt l'origine des eaux pluviales. Or, ce ſont ces eaux qui alimentent nos ſources & nos rivières, ainſi que nous allons voir.

Quelle eſt la quantité d'eau pluviale qui tombe dans une année.

40. Il tombe moyennement & annuellement en France une couche d'eau pluviale de 20 pouces ou environ d'épaiſſeur. Sur le reſte de la ſurface du globe, il y a quelque pays où il en tombe moins. Mais en compenſation, il y en a pluſieurs où il en tombe une beaucoup plus grande quantité. Il y en a même quelques-uns où il en tombe près de 100 pouces. Ces variations, dans la quantité d'eau pluviale, dépendent de la direction des vents qui pouſſent les nuages, de la poſition, ainſi que de la hauteur des chaînes de montagnes qui les arrêtent, &c. Nous ne pouvons pas dire que la quantité moyenne d'eau pluviale qui tombe annuellement en France ſoit la quantité moyenne qui tombe ſur le globe : car la plupart des autres pays, tant du nord que du midi, ayant des pluies beaucoup plus abondantes que nous, tout nous indique au contraire que cette quantité moyenne doit être au-deſſus de 20 pouces pour toute la ſurface de la terre. Mais comme les obſervations météorologiques nous manquent à cet égard, nous ne pouvons pas aſſigner cette quantité d'une manière auſſi préciſe que pour la France. Il s'agit de ſavoir à préſent ſi l'évaporation ſeule peut ſuffire à une auſſi grande quantité d'eau.

Quelle eſt l'évaporation annuelle.

41. Dans la partie méridionale de la France, l'évaporation annuelle ſur la ſurface des lacs, & des étangs, eſt ordinairement de 36 pouces, lorſqu'il règne beaucoup de vents,

ou des grandes chaleurs, elle va jusqu'à 40 pouces, & en général c'est-là son *maximum*. Quelquefois aussi elle est moindre que 36 pouces ; & cela par la raison contraire. Mais *36 pouces doivent être regardés comme le terme moyen de l'évaporation annuelle dans tout le midi de la France.*

42. On sent facilement que cette évaporation doit être plus grande dans les pays plus voisins de l'équateur, & qu'elle doit être moindre dans ceux plus voisins des pôles ; les premiers étant plus chauds & les seconds plus froids. Cependant comme la partie méridionale de la France est sous la latitude moyenne de 45 degrés, nous pouvons regarder l'évaporation moyenne qui y a lieu, comme l'évaporation moyenne sur toute la surface du globe. Ainsi *l'évaporation moyenne & annuelle qui a lieu sur les mers, les lacs, les étangs, les marais, les fleuves & les rivières, sur toute la surface du globe, doit être présumée d'environ 36 pouces.*

L'évaporation annuelle suffit amplement pour fournir aux pluies.

43. D'où il est aisé de conclure (40) que *l'évaporation qui a lieu sur les eaux dimissénées sur la superficie du globe, suffit amplement pour fournir aux pluies.*

Voyons à présent quel est le mécanisme dont la providence se sert pour alimenter les sources & les rivières par le moyen des pluies.

Division des eaux pluviales en diverses classes.

44. Parmi les eaux pluviales, les unes s'écoulent superficiellement à mesure qu'elles tombent, & elles se rendent directement & immédiatement aux torrens & aux rivières dont elles forment les crues. C'est ce qui arrive sur-tout par les orages & les *averses ;* parce que, dans ce cas, les eaux n'ont pas le tems de filtrer à travers les terres. Les autres, au contraire, & ce sont celles qui résultent des pluies douces ou de la fonte insensible des neiges ; les autres, disons-nous, pénètrent insensiblement & s'insinuent dans la terre. Ces dernières doivent être divisées en trois classes.

Les eaux de la première classe sont celles qui, humectant

les terres ſuperficielles, ſont enlevées de nouveau par l'évaporation produite par l'action, ſoit du vent, ſoit du ſoleil; on le voit évidemment dans les campagnes. Peu après une pluie, la couche de terre de la ſuperficie eſt tout-à-fait sèche, tandis que les couches intérieures conſervent leur humidité.

Les eaux de la ſeconde claſſe ſont celles qui ſont employées à la végétation de toutes les plantes.

Enfin, les eaux de la troiſième claſſe ſont celles qui après avoir plus ou moins filtré dans l'intérieur de la terre, reviennent à la ſurface & forment les ſources & les fontaines. Nous allons voir de quelle manière elles rempliſſent cet objet.

45. Les fondrières des montagnes, en nous préſentant des flancs tout-à-fait dégradés & preſque taillés à pic, nous découvrent une infinité de couches de différentes matières, telles que de pierre, d'argile, &c. Ces couches ſont ordinairement parallèles entr'elles : rarement elles ſont horizontales ou de niveau, & preſque toujours elles ſont plus ou moins inclinées. Or, ce n'eſt pas-là ſeulement la contexture des montagnes. Les pays en plaine nous offrent la même conformation intérieure, ainſi qu'on s'en eſt convaincu par les profondes excavations qui ont été faites en divers endroits. Comment les eaux pluviales forment les ſources.

D'autre part, en parcourant les montagnes dont la ſuperficie a ſubi des dégradations tant ſoit peu conſidérables, nous rencontrons à chaque pas des cavernes plus ou moins grandes; ſur le nombre, on en voit pluſieurs d'une capacité immenſe, & dont on n'a jamais pu trouver la fin. Dans preſque toutes on remarque des filtrations d'eau qui s'amaſſent au fond, & y forment des réſervoirs; d'où l'on peut conclure qu'il y en a une infinité d'occultes, & qui néanmoins ont les mêmes propriétés que celles qui ſont acceſſibles.

Cela poſé, ſi les eaux pluviales de la troiſième claſſe (44),

après avoir plus ou moins filtré, rencontrent une couche imperméable, telle, par exemple, qu'une couche d'argile, de pierres sans gerçures, &c.; elles suivront cette couche dans le sens de sa pente, jusqu'à ce qu'elles arrivent à la surface du terrein où elles paroîtront en plus ou moins grande quantité, suivant l'étendue de la superficie dont les eaux, ainsi filtrées, auront été interceptées par cette même couche. Ces exemples sont très-fréquens dans les montagnes à fondrières où l'on peut s'assurer du fait à chaque pas.

Si cette couche, qui intercepte les eaux filtrées aboutit à une caverne, les eaux s'y amasseront au fond, & parvenues à un certain point d'élévation, elles se feront jour par la charge ou pression, & s'évacueront en suivant quelque autre couche d'argile ou de rocher. C'est de-là que nous viennent les sources tant soit peu abondantes.

Preuve qui constate que les sources proviennent des eaux pluviales.

46. L'observation suivante prouve d'une manière bien sensible, que c'est aux eaux pluviales de la troisième classe (44) que nous devons les sources dont nous venons de parler. Ces sources augmentent toujours après les pluies longues & douces, & leur augmentation est d'autant plus grande, que ces pluies durent plus long-tems; au contraire, elles diminuent par un tems de sécheresse; quelquefois même elles tarissent, lorsque la sécheresse est fort longue. Donc, puisque les variations des sources sont constamment proportionnelles à celles des pluies, il est visible, par ce rapport, que les sources proviennent des eaux pluviales, ainsi que nous l'avons dit (45).

47. Nous avons dit (45), que les cavernes nous donnoient les sources tant soit peu considérables; en effet, on sent au premier abord, qu'une caverne doit couper un grand nombre de couches, & sur une étendue proportionnelle à sa capacité. Elle recevra donc une quantité d'eau d'autant plus grande à proportion. Il peut même arriver qu'elle intercepte les écoule-

mens d'autres cavernes; ce qui augmentera d'autant plus le volume de ſes eaux.

48. Comme une rivière reçoit dans ſon lit un plus ou moins grand nombre de torrens & de rivières, ſuivant la longueur de ſon cours, & que ſon volume d'eau ſe groſſit à proportion par les eaux de tous ces affluens ; de même auſſi, un écoulement ſouterrain peut en recevoir pluſieurs autres ſur ſa route intérieure, & former ainſi, ſuivant les circonſtances, une ſource plus ou moins volumineuſe. C'eſt ainſi, ſans doute, que ſe forme entr'autres la fameuſe fontaine de Vaucluſe, en ramaſſant ſur ſa route une partie des eaux de la chaîne de montagnes du *Léberon*.

Comment ſe forment les grandes ſources telles que celle de Vaucluſe.

49. Il peut arriver que la couche conductrice aboutiſſe au-deſſous du niveau des eaux de la mer. Dans ce cas, l'évacuation ſe fait immédiatement dans le ſein même de la mer, & alors elle eſt inviſible.

Les ſources des pays de plaine ſe perdent ſouvent au-deſſous du niveau des eaux de la mer.

C'eſt ce qui doit arriver, ſur-tout, aux eaux pluviales des pays en plaine. Dans ces pays, les eaux pluviales de la troiſième claſſe (44), ſont beaucoup plus abondantes que dans les pays de montagnes, dont la déclivité s'oppoſe à la filtration. Il devroit donc y avoir plus de ſources dans les pays de plaine que dans ceux de montagnes, & cependant c'eſt le contraire; par conſéquent, ces eaux ne peuvent s'évacuer en grande partie qu'au-deſſous du niveau de la mer.

50. Mariotte avoit comparé la dépenſe d'eau de la Seine, priſe à Paris, avec la quantité d'eau pluviale qui tombe ſur les pays qui fourniſſent tant à cette rivière qu'à ſes affluens. Des auteurs italiens ont fait la même comparaiſon entre la dépenſe du Pô, en Lombardie, & les eaux pluviales des pays qui alimentent ce fleuve & les rivières qu'il reçoit. Les uns & les autres ſe ſont convaincus par les réſultats de leur comparaiſon que l'origine des fontaines & des rivières n'eſt due qu'aux eaux pluviales, ainſi que nous l'avons démontré.

Conclusion de la discussion sur l'origine des sources.

51. Nous pourrions entrer ici dans un grand nombre de détails aussi curieux qu'intéressans : car on sent que le champ est fort vaste. Mais nous ne nous sommes proposés que de faire connoître l'origine & la cause des sources & des rivières. Nous croyons avoir rempli cette tâche, par ce que nous venons de dire à cet égard, ainsi nous ne pousserons pas plus loin ce sujet.

Nous concluerons seulement, en terminant ce paragraphe, que, d'après tout ce que nous avons dit sur cet objet:

1°. Les eaux des sources se rendant aux torrens & aux rivières, comme aux endroits les plus bas, alimentent ces torrens & ces rivières dans leur état habituel.

2°. Les eaux des sources devenant plus ou moins abondantes suivant les pluies ou la sécheresse(46), les torrens & les rivières participent à cette augmentation ou à cette diminution.

3°. Les eaux pluviales qui s'écoulent sur la surface de la terre sans aucune espèce de filtration, sont celles qui occasionnent les crues des torrens & des rivières, ainsi qu'il a été dit (44). C'est dans ce dernier état que ces courans sont pernicieux, & qu'ils méritent de fixer notre attention pour en prévenir les ravages.

§. III.

Observations générales sur les Torrens & les Rivières.

52. Nous avons dit(8) que l'expérience journalière prouvoit que les eaux pluviales étoient la principale cause de la division des masses totales primitives (9) en une infinité de montagnes partielles ; nous exposerons, dans les sections suivantes, les loix d'après lesquelles cette cause a agi. Mais, en attendant, il convient d'entrer ici dans quelques détails préliminaires à ce sujet.

53.

Les masses de montagnes sont sillonnées de vallées de divers ordres.

53. Si l'on jette les yeux sur un pays montueux, on verra 1°. que les montagnes n'ont pas de penchans unis & continus, &, qu'outre les fondrières & les précipices dont nous avons parlé (13), ces penchans sont sillonnés en général d'une infinité de bas-fonds & de ravins où les eaux pluviales se rendent comme aux endroits les plus bas, & par où elles s'écoulent; 2°. que tous ces ravins se réunissent ensuite successivement dans des vallons qui se forment au bas des montagnes & qui séparent ces mêmes montagnes les unes d'avec les autres; 3°. Enfin que ces vallons se réunissent, de la même manière, dans des vallées encore plus basses & qui séparent non seulement les montagnes, mais encore les chaînes des montagnes & leurs ramifications.

Ces vallées ont été formées par les eaux pluviales.

54. Tous ces déchiremens des masses primitives ont été produits par les eaux pluviales, ainsi qu'on va voir.

Supposons qu'un orage soit tombé sur une des masses primitives : les eaux de cet orage étant trop abondantes pour être absorbées par la terre à mesure qu'elles tomboient, une partie aura commencé à s'écouler sur le penchant, comme sur un plan incliné le long duquel sa vîtesse se sera continuellement accélérée. D'autre part, son volume, en descendant, se sera aussi continuellement accrû. La force augmentant donc, à chaque instant, par l'augmentation du volume & de la vîtesse, cette partie des eaux non absorbées aura agi sur le penchant, & aura commencé à le sillonner de ravins dont la position & la direction auront été relatives aux circonstances & aux localités.

Le cours des eaux superficielles augmentant, ces ravins partiels se seront réunis successivement, & le volume d'eau qu'ils auront fourni s'augmentant ainsi continuellement, aura creusé un ravin commun du second ordre, beaucoup plus considérable que les ravins partiels & primitifs ou du premier ordre.

Les ravins du second ordre venant pareillement à se réunir entr'eux, auront formé des ravins d'un ordre supérieur dont le

volume d'eau & les dimenſions auront été d'autant plus conſidérables, qu'ils s'éloignoient davantage du point culminant de la maſſe primitive.

Que dans la ſuite il ſoit ſurvenu d'autres orages, le lit de tous ces ravins ſe ſera toujours plus agrandi & plus approfondi, juſqu'à ce qu'il ait pu prendre un degré de pente relatif au volume d'eau, à l'éloignement de la mer & à la hauteur de la maſſe ſillonnée.

On ſent, au premier abord, que ces ravins de tous les ordres devenant toujours plus profonds, & les terres des maſſes primitives étant continuellement emportées par ces eaux d'orage, ces mêmes maſſes auront dû ſe partager en une infinité de montagnes partielles, telles que celles qui forment le grouppe des Alpes, des Pyrénées, des Cordillières, &c.

On ſent auſſi facilement que tous ces ravins de différens ordres ont dû produire pareillement des vallées plus ou moins grandes & plus ou moins étendues proportionnellement au volume des eaux qu'ils recevoient; vallées qu'on doit auſſi, par la même raiſon, diſtinguer par ordres.

On ſent enfin que toutes ces vallées devant être néceſſairement ſéparées entr'elles par des chaînes de montagnes, il en eſt réſulté que les grouppes ſe ſont partagés en une infinité de ramifications plus ou moins étendues, ſuivant les lieux & les circonſtances.

La raiſon nous dit aſſez que telle a été, ſans contredit, l'origine de toutes les vallées qui ſillonnent les continens & les iſles.

Plus un pays eſt montueux, plus on y trouve des ſources.

55. Nous avons remarqué (45) que les montagnes étoient compoſées de couches de diverſes matières; d'où l'on doit conclure que telle étoit auſſi la contexture intérieure des maſſes primitives ſupérieures au niveau de la mer. Ces couches des maſſes primitives ont donc été coupées & interrompues par la formation des vallées. Et puiſque, d'après ce nous avons dit au

même n. 45, ces mêmes couches font les conducteurs des eaux de fource; il s'enfuit que ces eaux font aujourd'hui interceptées en très-grande partie par les vallées où elles doivent néceffairement fe rendre comme aux endroits les plus bas, ainfi qu'il a déja été dit (51 1°.); & c'eft la raifon pour laquelle plus un pays eft montueux, plus on trouve de fources.

56. Les eaux de ces fources tombent d'abord dans les ravins & les fondrières, dont les torrens & les avalanches ont fillonné nos montagnes. C'eft par cette voie qu'elles fe rendent enfuite aux vallées des ordres fupérieurs, pour former & alimenter les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire. La réunion des eaux des fources forme les fleuves & les rivières.

57. Nous avons obfervé (46), que le volume des fources varioit fuivant les tems; qu'il augmentoit par une pluie longue & douce, & qu'il diminuoit par la féchereffe. D'où il fuit que les rivières doivent éprouver les mêmes viciffitudes dans les mêmes circonftances; c'eft-à-dire, qu'abftraction faite des eaux pluviales qui s'écoulent fur la fuperficie de la terre, fans filtrer dans l'intérieur, leur volume augmentera par une pluie longue & douce, & qu'il diminuera par la féchereffe; ce qui eft conforme à l'expérience journalière. Le volume d'eau des rivières augmente par les pluies, & diminue par la féchereffe.

58. Les eaux de fource provenant des eaux pluviales, & étant, en général, affez uniformément interceptées par les vallées, on peut dire qu'affez ordinairement le volume réuni de ces eaux, doit être à-peu-près en proportion avec la fuperficie qui les fournit, toutes chofes d'ailleurs fuppofées égales. Donc, puifque (56) ce font ces eaux qui forment les rivières dans leur état ordinaire, l'on peut dire que le *volume des eaux de deux rivières qui prennent leurs fources dans des pays de montagnes, eft à-peu-près proportionnel à la fuperficie du terrein qui les alimente.* Rapport des volumes d'eau de deux rivières.

La même comparaifon aura pareillement lieu entre les volumes ordinaires d'eau de deux rivières en pays de plaine, puifqu'elles font auffi formées par les eaux de fources. Mais on

ne pourroit pas établir une pareille comparaison entre deux rivières, dont l'une seroit en pays de plaine, & l'autre en pays de montagnes; car nous avons vu (55) que plus un pays est montueux, plus il y a de sources.

Utilité de ce rapport dans le génie civil & militaire.

59. Ce que nous venons de dire (58), peut être très-utile pour l'organisation de plusieurs projets, sur-tout relativement à la navigation & à la flottaison des rivières, ainsi qu'à la dérivation des canaux d'arrosage, où l'on a essentiellement besoin de connoître, du moins à-peu-près, le volume d'eau ordinaire des rivières sur lesquelles on a à opérer. En effet, si l'on connoissoit le volume d'eau ordinaire d'une rivière, & la superficie du terrein qui le fournit, il est visible que par le moyen d'une carte bien exacte, on pourroit, avant de se porter sur les lieux, déterminer, à quelque chose près, par comparaison, celui de la rivière dont il s'agit.

La même chose peut aussi être très-avantageuse dans beaucoup de circonstances, pour les opérations militaires en pays ennemi; car, pour tenter, par exemple, le passage d'une rivière, il importe beaucoup de connoître, entr'autres choses, la masse ordinaire de ses eaux.

Dans l'un & l'autre cas, la chose mérite .re prise en considération avec d'autant plus de raison, qu. .es Administrations pourroient, en quelque façon, juger, soit des projets, soit des opérations qui s'y rapportent, sans se transporter sur les lieux; & que, pour cela, une carte bien exacte & amplement détaillée leur suffiroit.

60. Du n. 58 il suit que le volume ordinaire des eaux d'une rivière, augmente ou diminue d'autant plus qu'on s'éloigne ou qu'on s'approche davantage de son origine,

Car 1°. plus on s'éloigne de son origine, plus l'étendue du terrein dont les sources l'alimentent devient considérable, & par conséquent toutes choses d'ailleurs égales, plus il y aura de sources qui se rendront dans son lit.

2°. Au contraire, plus on remontera vers ſon origine, plus cette étendue de terrein diminuera : il en ſera de même du nombre des ſources qui l'alimentent.

Les troubles des rivières indiquent une augmentation dans le volume de leurs eaux.

61. Les rivières, priſes dans leur état ordinaire, ont toujours leurs eaux claires & limpides, puiſque les eaux de ſources ſont conſtamment telles ; ſi les eaux ſe troublent, on doit conclure qu'elles ne ſont pas toutes des eaux des ſources nourricières, & qu'il y en a d'étrangères qui s'y ſont mêlées & y ont tranſporté des matières hérérogènes & terreſtres ; à moins que quelque cauſe particulière, telle, par exemple, que le vent, n'y eût porté du ſable & du limon, des bords ou des environs, ce qui pourroit produire le même effet, ſans aucun mêlange d'eaux étrangères. Par conſéquent, ce cas excepté, on peut conclure que *toutes les fois que les eaux d'une rivière ſont troubles, elles ne ſont plus dans leur état ordinaire, & que leur volume eſt augmenté.*

D'où proviennent les troubles des rivières.

62. Les troubles, dans les rivières, proviennent ordinairement de l'adjonction des eaux pluviales qui, par un orage ou une averſe, s'écoulent ſuperficiellement, ſans filtrer dans la terre. Ces eaux, dans leur cours, ſur le penchant des terreins en pente, ſe chargent de matières terreſtres, qu'elles tiennent en diſſolution & qu'elles tranſportent, par la voie des torrens, dans les rivières, dont elles troublent alors la limpidité. Ce ſont ces eaux qui, comme nous l'avons déjà dit (44 & 51. 3°.), occaſionnent les crues ; ainſi, *les crues ne ſont autre choſe que l'augmentation du volume des eaux d'un torrent ou d'une rivière, produite par les eaux pluviales qui s'écoulent ſuperficiellement & ſans filtration.*

Loi des crues des rivières par une pluie générale.

63. *Si une pluie eſt générale, la crue d'eau ſera d'autant plus forte, & la durée d'autant plus longue, que le pays d'où les eaux viennent ſera plus étendu, toutes choſes d'ailleurs égales.*

1°. Les eaux pluviales qui forment la crue, partent de tous les points de la ſurface qui fournit. Donc en regardant chacun de ces points, comme une ſource extrêmement petite, dont les

eaux ſe rendent au torrent ou à la rivière, il y aura d'autant plus de ſources nourricières, que la ſurface qui fournit ſera plus étendue. Donc (58) plus cette ſurface ſera étendue, plus elle fournira; & par conſéquent plus la crue ſera forte.

2°. La crue n'étant autre choſe que l'écoulement des eaux qui la forment, ſa durée ſe meſurera par celle de cet écoulement. Elle ne finira donc qu'à l'arrivée des eaux pluviales qui ſont tombées vers la ſource du torrent ou de la rivière, & aux points les plus éloignés de celui qu'on prend, ſur la longueur du cours, pour terme de comparaiſon: car il eſt viſible que la pluie finie, ces eaux arriveront les dernières. Or, elles arriveront d'autant plus tard, qu'elles viendront de plus loin, ou que le pays dont il s'agit ſera plus étendu.

Au ſurplus, nous avons ſuppoſé que tout, d'ailleurs, étoit égal, c'eſt-à-dire que le pays étoit uniformément montueux, les montagnes uniformément ardues, uniformément couvertes de bois, &c.; car on ſent bien que toutes ces variétés doivent influer ſur les crues; mais comme la choſe n'a jamais exactement lieu, & que les localités ſont variées à l'infini, il s'en ſuit qu'on ne doit regarder cette démonſtration que comne approximative, & non comme rigoureuſe ni géométrique. Cependant, elle ſuffit pour notre objet; car, dans cette partie, on ne peut atteindre qu'à des à-peu-près, ainſi qu'on doit le ſentir.

Conditions pour le *maximum* des crues.

64. *La crue d'eau, par une pluie générale, ſera la plus forte, dont le torrent ſoit ſuſceptible, lorſque les eaux des points les plus éloignés arriveront au point de comparaiſon pris ſur le cours du torrent ou de la rivière, avant la fin de l'écoulement des eaux des points les plus proches.*

La choſe eſt évidente, puiſque, dans ce cas, les eaux de tous les points de la ſuperficie qui fournit, paſſeront en même-tems au terme de comparaiſon.

65. Il ſuit de-là, que *ſi les eaux les plus éloignées n'arrivent*

qu'après l'entier écoulement des plus proches, la crue ne parviendra pas au MAXIMUM. La chose arrivera lorsque la pluie ne durera pas assez long-tems pour donner aux eaux, les plus éloignées, le tems d'arriver avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches.

66. Par conséquent, *pour la crue la plus forte possible, la pluie doit être d'autant plus longue, que le pays arrosé par la rivière sera plus étendu.*

67. *La fonte de la neige, par un vent chaud, équivaut à une pluie générale.* La chose est évidente. On peut même ajouter qu'une pareille fonte étant uniforme, doit donner plus d'exactitude & de précision à la démonstration de la proposition du n. 63.

Les crues seront plus fortes dans les pays de montagnes.

68. *Toutes choses d'ailleurs égales, les crues sont d'autant plus fortes que les pays sont plus montueux :* car, la déclivité facilite l'écoulement superficiel des eaux pluviales, & est un obstacle à la filtration à travers la terre. Donc, plus le pays est montueux, plus le volume d'eau qui s'écoulera superficiellement sera considérable. Donc aussi, plus la crue sera forte.

Elles seront moins fortes dans les pays de plaines.

69. Il suit de cette proposition, *que dans les pays de plaines, les crues des rivières seront moins fortes que dans les pays de montagnes, toutes choses d'ailleurs égales;* car par les raisons inverses du nombre précédent, le terrein ayant peu de déclivité, l'écoulement superficiel des eaux pluviales y sera moindre que dans les pays de montagnes.

Elles seront d'autant plus fortes, que les montagnes seront moins boisées & plus décharnées.

70. *Toutes choses d'ailleurs égales, dans les pays montueux, les crues seront d'autant plus grandes que les montagnes seront moins boisées & plus décharnées.*

1°. Les arbres & les arbustes interceptent par leurs branches & leurs feuilles, les gouttes d'eau qui tombant ensuite par intervalles, ont le tems de filtrer à travers la terre; par conséquent, cela ne pouvant pas avoir lieu quand les mon-

tagnes ne font pas boifées, il eft vifible qu'une grande partie de ces eaux doit alors s'écouler fuperficiellement, & groffir d'autant les crues.

2°. Plus une montagne eft nue & décharnée, moins il y a d'eaux qui filtrent pendant les pluies. Donc les eaux qui s'écoulent fuperficiellement étant plus abondantes, les crues deviennent plus fortes.

Dans ce cas les crues feront plus courtes.

71. Il fuit de-là, que *dans ce cas, les crues doivent être plus courtes ;* car les eaux éprouvant moins de difficultés par la nudité des montagnes, s'écrouleront dans moins de tems.

Dans quel cas la crue n'eft que partielle.

72. Si la pluie n'eft pas générale & qu'elle ne tombe que fur une partie quelconque de la fuperficie qui alimente le torrent ou la rivière, la crue qui en réfultera ne fera que partielle. Telle eft, par exemple, la pluie d'orage : car il eft inoui qu'un orage dévafte au-delà d'une certaine étendue.

Conditions pour le *maximum* d'une crue partielle.

73. *La crue réfultante d'une pluie partielle fera parvenue à fon MAXIMUM, lorfque l'écoulement des eaux les plus éloignées arrivera au terme de comparaifon avant la fin de l'écoulement des eaux les plus proches ;* car, dans ce cas, toutes les parties fur lefquelles la pluie tombe, fourniront à-la-fois leurs eaux d'écoulement au terme de comparaifon. Donc ce terme recevra dans ce moment tout ce qu'il peut recevoir.

Les crues d'orage font plus fortes que les crues des pluies ordinaires.

74. *Toutes chofes d'ailleurs égales, les crues, par orages, font plus fortes que celles par pluies ordinaires ;* & cela pour deux raifons; la première, eft que les eaux d'orage taffent la terre, en bouchent les pores, & empêchant par-là la filtration, facilitent l'écoulement fuperficiel ; la feconde, eft que la pluie étant plus forte, produit un plus grand volume d'eau à cet écoulement.

Le volume & la durée de la crue augmenteront en s'éloignant de la fource.

75. *A partir de l'origine du torrent ou de la rivière, plus on defcendra, plus la crue augmentera, ainfi que fa durée.* Cela eft évident, d'après ce que nous avons dit (63).

76.

76. D'où l'on doit conclure, d'après le même principe, que *la crue diminuera, ainsi que sa durée, à mesure qu'on remontera vers l'origine du torrent ou de la rivière.*

Au contraire ils diminueront en s'en approchant.

77. Les eaux troubles des crues prennent toujours la couleur du terrein de la contrée d'où elles viennent. Par conséquent, si le pays qui alimente une rivière est composé de divers quartiers, où les terres diffèrent de couleur, à l'aspect de la teinte des eaux troubles, on pourra toujours connoître le quartier d'où elles viennent. C'est sur quoi les habitans riverains ne se trompent jamais, lors des crues produites par des orages ou par des pluies partielles.

La couleur des troubles fait connoître le pays d'où ils viennent.

78. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les élémens qui entrent dans la formation des crues, sont beaucoup plus multipliés & plus variés que ceux qui se rapportent aux sources; c'est-à-dire, à la cause qui alimente les rivières dans leur état ordinaire : aussi seroit-il impossible, par le moyen de la carte la plus exacte, de juger du volume d'eau dans les crues, comme nous avons dit (59) qu'on pouvoit juger de celui des eaux ordinaires.

79. *L'écoulement des eaux superficielles ne cesse pas avec la pluie.* Car ces eaux imbibent plus ou moins les terres de la superficie qui, semblables à des éponges, les rendent ensuite peu-à-peu, & par-là font continuer l'écoulement superficiel pendant quelques jours après la pluie. C'est un fait que nous avons remarqué constamment, & dont tout le monde peut s'assurer.

L'écoulement des eaux superficielles ne cesse pas avec la pluie.

80. Il arrive de-là, que les crues ne cessent pas avec l'écoulement des eaux pendant la pluie. Ces crues continuent avec les écoulemens *secondaires* & superficiels (79), & diminuent avec eux. Pendant le tems de la diminution, les eaux se clarifient peu-à-peu, jusqu'à ce que le torrent ou la rivière ne reçoive plus que les eaux de source.

Conséquence qui en résulte.

81. Ainsi la grande crue & les troubles qui l'accompagnent, ne durent que jusqu'à l'arrivée des dernières eaux superficielles

A quelle époque les troubles diminuent.

qui ſont parties des points les plus éloignés, au moment où la pluie ou la fonte des neiges y a ceſſé. Depuis cet inſtant, la crue décroît en s'alimentant d'eaux, pour ainſi dire, à demi-filtrées (79), leſquelles ſe clarifiant peu-à-peu, produiſent une diminution continuelle dans les troubles.

Loi des écoulemens ſecondaires.

82. Toutes choſes d'ailleurs égales, *le volume, & la durée des écoulemens ſecondaires ſeront d'autant plus conſidérables, que la ſurface du pays qui les forme ſera plus étendue.*

En effet, 1°. tous les points de la ſurface qui fournit, devant alors être conſidérés comme tout autant de ſources extrêmement petites (63 1°.), il eſt viſible que le nombre de ces ſources, & par conſéquent, le volume habituel d'eau qu'elles fourniront à la rivière, ſera proportionnel à cette ſurface.

2°. Plus la ſurface du terrein qui fournit ſera étendue, plus les eaux les plus éloignées emploieront de tems pour arriver au terme de comparaiſon.

A quelle époque s'établit l'équilibre entre le fond & l'action des eaux.

83. Pendant tout le tems que la pluie ou l'orage dure, le torrent détache des terres & des pierres, de la montagne où il prend ſa ſource; il charrie pêle-mêle toutes ces matières qui ſont alors dans une eſpèce de liquéfaction. On peut s'en convaincre aiſément par les dépôts que les torrens ne laiſſent que trop ſouvent dans les plaines. On verra que ces dépôts ne ſont qu'un amalgame & un mêlange de pierres & de terre.

Mais lorſque ces matières ſont arrivées au confluent de quelqu'autre torrent dans la plaine, ou qu'en général le volume d'eau eſt aſſez conſidérable pour les noyer, la violence du mouvement diſſout en très-peu de tems la terre qui, ſe mêlant avec l'eau, forme les troubles. Les pierres manquant alors de cette eſpèce de ciment, ſe ſéparent, & ſe répandant ſur le fond du lit, y forment des couches de gravier.

On ſent bien que pendant la durée de la crue principale, ces pierres doivent être en mouvement, tant dans les tor-

rens que dans les rivières, & l'on peut s'en affurer facilement, foit en entrant dans le courant, foit en prêtant attentivement l'oreille. La chofe eft d'ailleurs naturelle; car la crue n'eft qu'un mouvement violent, & une force extraordinaire. Or, toute force extraordinaire rompt l'équilibre préexiftant.

Cependant comme tout dans la nature tend à l'équilibre, & comme cet équilibre ne peut fe rétablir que par la ceffation de la force extraordinaire qui l'avoit détruit, & par une certaine uniformité d'action modérée & d'une certaine durée; comme la crue principale, outre qu'elle n'exerce pas cette uniformité d'action modérée, dure d'ailleurs, en général, affez peu de tems; tandis qu'au contraire, l'écoulement fubféquent & fecondaire dont nous avons parlé au n. 79, dure pendant quelques jours après la pluie, & qu'enfin, cet écoulement pouvant être affimilé à celui des fources, réunit toutes les conditions d'action modérée & de certaine durée, pour établir l'équilibre; il s'enfuit que ce ne peut-être qu'après la crue principale, & pendant l'écoulement fecondaire des eaux pluviales (79), que l'équilibre s'établira entre l'action du courant & la réfiftance des matières du fond.

84. C'eft ce volume d'eau que nous appellerons *volume d'eau d'équilibre;* il fe compofe, comme l'on voit, de celui des eaux des fources qui alimentent les rivières dans leur état ordinaire, & de celui des écoulemens fecondaires (79) des eaux pluviales; par conféquent, il tient le milieu entre le volume d'eau des crues principales & celui de la rivière, prife dans fon état naturel & ordinaire. C'eft particulièrement de ce volume & de fa durée que dépend la diftinction entre un *torrent* & une *rivière*. En effet, le courant fera véritablement une *rivière* à l'endroit où le volume dont nous venons de parler, & fa durée feront affez confidérables pour donner une confiftance au fond & fe mettre en équilibre avec lui. Si, au contraire, cela n'a pas lieu, ce fera un *torrent*. Or

Différence entre les torrens & les rivières.

(60 & 81), plus on s'éloignera de l'origine du courant, plus le volume des eaux augmentera, ainſi que ſa durée; au lieu que plus on s'en approchera, plus ces deux grandeurs diminueront. Donc, *ce ne ſera qu'à une certaine diſtance de la ſource que les torrens deviendront de véritables rivières*, *dont on pourra connoître les loix.* Il s'agit à préſent de déterminer cette diſtance.

Conditions pour les torrens & pour les rivières.

85. Par la multiplicité des élémens qui entrent dans cette queſtion, on juge bien qu'elle eſt irréſoluble par la théorie. Si l'on conſulte l'expérience, on verra que la propriété dont nous venons de parler (84), & qui différencie le torrent de la rivière, devant produire dans la rivière une pente conſtante, dans un endroit déterminé, & un état ſenſiblement permanent dans le lit, ainſi que nous le verrons plus bas; on verra, diſons-nous, que le torrent ſera preſque toujours *rivière parfaite*, à quelques lieues en aval de ſa ſource. En amont de ce point qui ſert de limite, la rivière ſera *torrent.* Mais comme tout ſe fait par nuances dans la nature, à partir du point de ſéparation, le torrent tiendra d'abord beaucoup de la rivière : enſuite, en remontant, les propriétés communes diminueront toujours de plus en plus, juſqu'à ce qu'on ſoit parvenu aſſez près de la ſource, pour que le torrent ſoit *torrent proprement dit;* c'eſt-à-dire, pour que ſa pente y ſoit irrégulière, & le lit ſujet à pluſieurs révolutions, par la courte durée des crues.

86. On voit, par ce que nous venons de dire (84 & 85), qu'un torrent arrivé dans une vallée peut être remarqué en trois endroits particuliers, ſavoir : 1°. un peu au-deſſous du pied même de la montagne de laquelle il deſcend; 2°. à quelques lieues en aval de cet endroit; & 3°. enfin, dans l'entre-deux. Dans la partie en amont du premier point, le torrent eſt *torrent proprement dit.* Dans la partie en aval du ſecond, le torrent eſt une *rivière proprement dite*; & dans

l'entre-deux, c'eſt un torrent qui tient de la nature de la rivière, & que nous appellerons *torrent-rivière.*

87. *Concluons donc de tout ce que nous venons de dire à ce ſujet ;* 1°. *que le torrent eſt une eau qui ne coule en quantité, que pendant les orages ou les groſſes pluies, & toujours avec une grande violence, & dont le lit eſt ſujet à beaucoup de variations & d'irrégularités par la courte durée des crues.*

Définition du torrent, de la rivière & du torrent-rivière.

2°. Que *la rivière eſt une eau qui coule dans tout les tems, & dont le volume, après les crues, eſt aſſez conſidérable, & a aſſez de durée pour donner au lit une pente réglée pour chaque point reſpectivement, & un état ſenſiblement permanent.*

3°. Enfin, que *le torrent-rivière eſt un courant qui tient le milieu entre le torrent & la rivière, & qui, ſuivant les divers endroits de ſon cours, participe plus ou moins aux propriétés de l'un & de l'autre.*

88. Il étoit eſſentiel de définir d'une manière préciſe le torrent & la rivière : car, en conſultant les auteurs hydrauliques, on voit qu'on n'a jamais été d'accord ſur cette definition. En effet, les uns prétendent que ce qui différencie le torrent de la rivière, c'eſt que la rivière doit avoir de l'eau dans tous les tems; au lieu que le torrent ne doit en avoir que lors des pluies & des orages. Mais il y a beaucoup de torrens qui ont auſſi de l'eau dans tous les tems, parce qu'ils reçoivent pluſieurs ſources dans leur lit, ainſi qu'il a été dit (55). D'autres conſidèrent comme torrens, toutes les rivières qui ont beaucoup de pente; dans ce cas il n'y auroit aucune rivière, mais ſeulement des torrens, dans des pays de montagnes. Cependant pluſieurs de ces rivières, telles que la Durance, l'Isère, la Haute-Loire, l'Allier & la Haute-Garonne, priſes dans le pays des montagnes, ont aſſez d'eau pour être flottables, & l'on ſent qu'il feroit abſurde de les confondre avec les torrens, avec leſquels elles n'ont de commun que la grande vîteſſe de leurs eaux; ce qui ne peut pas être une raiſon caractériſtique.

Ainſi nous le répétons, ce qui caractériſe particulièrement la rivière & la différencie du torrent, eſt (84) que la rivière doit avoir, tout le long de ſon cours, un lit d'une pente déterminée & qui, quoique différente pour chaque point, comme nous le verrons plus bas, ſoit pourtant, conſtamment la même au même endroit ; au lieu que dans le torrent, cette pente varie continuellement. Or cette propriété dépend eſſentiellement du volume d'eau & de la durée de ſon action, lorſqu'il ſe met en équilibre avec le fond après les crues ; & ce ſont ces conditions qui manquent dans les torrens, tandis qu'elles ſe réuniſſent dans les rivières, ainſi que nous l'avons vu (60 & 82).

Définition du volume des eaux dans les divers états des rivières.

89. D'après tout ce que nous avons dit dans ce paragraphe, on voit que le volume d'eau des rivières eſt ſujet à beaucoup de variations ſuivant le tems & les circonſtances. Pour la parfaite intelligence de ce qui ſuit, il faut donc fixer nos idées & nos dénominations ſur ce volume, dans chaque variation.

1°. Nous avons vu (63 & 76) que la grandeur des crues dépend de la généralité ou de la partialité des pluies, de leur intenſité, de leur durée, de l'étendue du pays ſur lequel elles tombent, de ſa déclivité, de la nudité & du décharnement des lieux. En conſéquence, il paroît que nous devons diſtinguer trois claſſes de crues, ſavoir : *la grande crue*, *la crue moyenne & la petite crue.*

2°. Nous avons pareillement vu (79 & 80) que l'écoulement des eaux des terres de la ſuperficie, continue la crue après la pluie. Comme d'après ce que nous avons dit (83), ce ſont ces eaux d'écoulement ſecondaire qui fixent l'état du lit après les crues, & rétabliſſent l'équilibre entre l'action du courant & la réſiſtance des matières du fond, & que ce rétabliſſement doit particulièrement s'effectuer par leur volume moyen, nous l'appellerons *volume d'équilibre*, ainſi que nous l'avons déjà dit (84).

3°. L'écoulement des eaux dont les terres ſuperficielles s'étoient imbibées pendant la pluie étant fini, la rivière ne ſera

plus alimentée que par les eaux de ſource. Mais (46) le volume des eaux de ſource augmente par les pluies, & diminue par la ſéchereſſe : donc il en ſera de même du volume des eaux des rivières priſes hors des crues, & dans leur état naturel. Or, ces variations dans les ſources, font diſtinguer leurs eaux en *hautes eaux*, *baſſes eaux & eaux moyennes* : par conſéquent on doit faire la même diſtinction dans les eaux des rivières priſes dans leur état naturel & ordinaire.

Définition du lit majeur & du lit mineur.

90. Les torrens & les rivières fort rapides, étendent conſidérablement leur lit, lorſque rien ne s'oppoſe à leur action ſur les bords; ſouvent même ce lit eſt ſi large, qu'il arrive rarement que dans les grandes crues il ſoit couvert par les eaux; & encore moins l'eſt-il dans les crues ordinaires; par conſéquent, on doit y diſtinguer deux lits, ſavoir: celui qu'occupent les eaux ordinaires, & celui qu'occupent ou que peuvent occuper les eaux des grandes crues. Ce dernier eſt donc compoſé du premier & de tout le gravier adjacent, ſur lequel les eaux des grandes crues peuvent ſe porter; c'eſt pour cela que nous le nommerons *lit majeur;* au lieu que le premier ſera appellé *lit mineur.* Ces deux lits ſeront les mêmes lorſqu'il n'y aura point de gravier ſuperflu au lit mineur, ainſi que la choſe a lieu lorſqu'une rivière eſt reſſerrée par des digues, ou par des berges quelconques.

Loi fondamentale ſur l'écoulement des eaux.

Fig. 3ᵉ.

91. *Suppoſons que l'eau en ſortant par l'orifice BC (fig. 3) du baſſin* ACDE *conſtamment entretenu plein, ſoit reçu dans un canal rectangulaire parfaitement poli dans ſon intérieur, & dont la ſection verticale & longitudicale eſt repréſentée par BCFG. Si ſur la verticale AC, comme axe, nous conſtruiſons une parabole ordinaire AM, dont le ſommet ſoit en A & le paramètre = 60 pieds, les ordonnées PM de cette parabole exprimeront la vîteſſe des particules placées ſur leur prolongement H H.*

La choſe eſt démontrée par les principes d'hydraulique. Voyez l'hydrodinamique du C. Boſſut.

Cas où le fond & les côtés du canal sont raboteux.

92. Si le fond & les côtés du canal sont raboteux & hérissés d'inégalités, les particules correspondantes perdront une grande partie de leur vîtesse, & elles ne pourront se mouvoir avec le reste de la masse, sans recouvrer, de la part des particules voisines, une partie de la vîtesse qu'elles auront perdu. La vîtesse de celles-ci diminuera donc aussi, mais moins que celle des premières. Il en sera de même de la vîtesse des particules intérieures suivantes, c'est-à-dire, que cette perte formera une série décroissante quelconque. Or, dans la nature il n'y a point de plan parfaitement poli & exempt de frottement. Donc la loi dont nous venons de parler (91) n'existe pas dans l'état naturel, ou, pour mieux dire, elle est troublée par les obstacles qui s'opposent au mouvement de l'eau.

Cas où la forme du canal s'altèrera par l'action des eaux.

93. Si la force de l'eau qui se meut dans un canal, est assez considérable pour qu'elle puisse continuellement faire équilibre à la résistance du frottement, la vîtesse moyenne de la masse sera uniforme, & l'eau aura par-tout la même profondeur. Mais si cette force est plus grande qu'il ne faut, pour contrebalancer la résistance du frottement, le fluide accélérera son mouvement le long du canal. Dans ce dernier cas, si les parties qui composent le fond & les côtés du canal n'ont qu'un certain degré d'adhésion entr'elles, elles résisteront d'abord à l'action de l'eau, & ensuite elles seront entraînées, lorsque, par l'accélération, le fluide aura augmenté sa force. Alors la figure du canal cessera d'être la même qu'auparavant, & elle se changera en une autre relative à l'équilibre.

Appliquons tout cela aux Rivières.

Application au cours des rivières, suivant la théorie. Fig. 4[e].

94. Soient AB (fig. 4) un plan incliné représentant le lit d'une rivière, & CD la superficie des eaux. Prenons la tranche élémentaire verticale & transversale FfgG, & sur FG construisons la parabole FEH, dont le paramètre = 60 pieds, en faisant abstraction

abſtraction de tout autre mouvement & de toute réſiſtance quelconque, les ordonnées de cette courbe exprimeroient (91) la vîteſſe des particules correſpondantes de cette tranche élémentaire; mais en conſidérant cette tranche comme ſe mouvant parallèlement à elle-même, le long du plan incliné AB, chacune de ces parties acquiert un nouveau degré de vîteſſe particulière par l'accélération. Sur la verticale CP conſtruiſons la même parabole AM; l'ordonnée PM exprimera la vîteſſe que la tranche élémentaire aura acquiſe au point correſpondant G, & cette vîteſſe ſera commune à toutes les particules compriſes ſur la profondeur GF. Par conſéquent, portant MP de G en Q, & conſtruiſant le rectangle GN, dans le cas où aucun obſtacle n'altèrera la loi du mouvement, on aura *la vîteſſe de chaque point de la tranche élémentaire FfgG arrivée en G, qui ſera exprimée par les élémens correſpondans du trapèze mixtilique NFEQ, compoſé du rectangle GN & de l'aire parabolique GFE.*

95. Il ſuit de-là, que toutes choſes d'ailleurs égales, *plus le cours du lit AB ſeroit long, plus la vîteſſe des eaux ſeroit conſidérable*; puiſque, dans ce cas, les élémens du rectangle GN deviendroient toujours plus grands, tandis que la parabole GFE ſeroit conſtante.

Conſéquences qui en réſulteroient.

96. Il ſuit encore que *les eaux inférieures auroient plus de vîteſſe que les eaux ſupérieures*. Car il eſt viſible que les élémens inférieurs du trapèze mixtilique NFEQ, ſeront plus grands que les élémens ſupérieurs.

97. Mais dans l'état naturel il s'en faut bien que les choſes ſoient ainſi. En effet:

Cette application eſt inadmiſſible dans la pratique.

1°. Le fond du lit des rivières eſt toujours compoſé d'une infinité d'obſtacles & d'inégalités, qui diminuent conſtamment l'effet de l'accélération. A ces obſtacles ſe joignent ſur-tout des gouffres avec contre-pente, que la loi de l'équilibre néceſſite par intervalles, ainſi que nous le verrons plus bas. Ces deux cauſes réunies, détruiſent continuellement par intervalles la

vîtesse acquise, qui, sans cela, deviendroit prodigieuse, & convertiroit nos rivières en courans terribles auxquels rien ne pourroit résister.

2°. La vîtesse des eaux inférieures, même dans les rivières qui réunissent une grande pente à un grand volume d'eau, ne suit pas, à beaucoup près, la loi des ordonnées à la parabole FEH; car, outre la résistance du fond dont nous venons de parler, & qui (92) se fait sentir de proche en proche jusqu'à la superficie du courant, les sinuosités multipliées des rivières, & la résistance des eaux antérieures ou d'aval, qui arrêtent ou retardent les eaux postérieures ou d'amont, détruisent une grande partie de cette vîtesse.

L'expérience nous prouve incontestablement la diminution de la vîtesse résultante de la pression des eaux supérieures sur les eaux inférieures. Qu'on prenne, par exemple, la Durance dans la partie de son cours correspondante à Orgon : sa pente y est d'environ 14 pouces sur 100 toises de longueur, & dans le tems des basses eaux, elle a environ 3 pieds de profondeur aux endroits où les habitans du pays la passent à gué. En ne prenant l'ordonnée de la parabole FEH qu'à 2 pieds de profondeur, on trouveroit, à très-peu de chose près, 11 pieds pour la vîtesse correspondante, ou pour l'espace parcouru dans une seconde; & cela, en faisant abstraction de la vîtesse d'accélération GQ, que nous supposons nulle. Evaluons, sous cette vîtesse, la force d'impulsion sur un pied carré, en considérant le fluide comme indéfini. Par le n. 41 de notre traité *sur la construction la plus avantageuse des machines hydrauliques*, nous aurons cette impulsio = 141 livres, à très-peu de chose près; par où il est aisé de juger que dans ce cas l'homme le plus fort seroit entraîné par le courant. Donc, puisque cela n'arrive pas, il suit que cette vîtesse n'est pas telle, à beaucoup près.

Un second exemple vient à l'appui de ce que nous disons. Nous avons été très-souvent témoins du refus que faisoient les

patrons des bacs ſur la Durance, de paſſer cette rivière dans les crues, juſqu'à un certain tems après l'arrivée des eaux dans le Rhône, prétendant qu'alors la vîteſſe du courant étoit conſidérablement moindre; ce qui prouve que le Rhône, par la réſiſtance qu'il oppoſe à la réception de la Durance, détruiſant une partie de la vîteſſe des eaux de cette rivière, cette deſtruction & le retardement qui en eſt la ſuite, ſe communiquent de proche en proche aux eaux affluentes particulièrement, juſqu'à une très-grande diſtance en amont.

Servons-nous enfin d'un autre exemple pour nous convaincre de la réſiſtance des eaux antérieures ſur les eaux poſtérieures ou d'amont. Suppoſons pour cela, que le lit d'une rivière fut coupé, dans ſon cours, par un déverſoir ou par une barre de rocher, qui y produisît une caſcade de pluſieurs pieds de hauteur, ainſi que la choſe a lieu en un-très grand nombre d'endroits: il eſt certain qu'à l'endroit de la chûte, la loi des ordonnées de la parabole FEH n'éprouvant d'autre obſtacle que celui de la gravité des filets ſupérieurs qui, ayant moins de vîteſſe que les inférieurs, pourront un peu gêner leur mouvement, cette loi ne ſera altérée que d'une manière inſenſible. Or, on remarque conſtamment, que dans ces endroits, la profondeur FG eſt beaucoup moindre que dans ceux où, ſous la même largeur, il n'y a point de chûte, quoique le volume d'eau ſoit par-tout le même. Donc, toutes choſes d'ailleurs égales, la ſection du courant étant plus grande aux endroits où il n'y a point de chûte, il faut néceſſairement que la vîteſſe y ſoit moindre, & que cette diminution y ſoit produite par la réſiſtance des eaux antérieures ou d'aval, puiſqu'il n'y a que cette cauſe qui puiſſe la produire.

98. L'on voit, par ce que nous venons de dire, qu'un traité ſur les rivières, uniquement fondé ſur la théorie & qui ne ſeroit pas modifié convenablement par l'expérience, ne donneroit que les loix de rivières idéales & qui non-ſeulement n'ont ja-

mais exiſté, mais même ne peuvent pas exiſter dans la nature. Comme néanmoins cet objet eſt de la plus haute importance pour la ſociété, examinons-le ſous tous ſes rapports, & tâchons de découvrir les vrais principes ſur leſquels nous puiſſions établir la théorie qui lui eſt propre. Pour cela revenons à la figure 4e.

Impoſſibilité de découvrir la loi exacte du mouvement des eaux des torrens & des rivières.

99. En ſuppoſant l'équilibre entre la réſiſtance du fond & l'action des eaux, on peut aſſurer que dans le rectangle GN, GQ étant la vîteſſe acquiſe de toutes les particules compriſes dans GF, ſera nulle pour la particule G qui agit immédiatement ſur le fond. Par conſéquent (92), cette deſtruction de vîteſſe ſe fera ſentir de proche en proche juſqu'à la particule F de la ſuperficie. Mais quelle eſt la loi que ſuivront toutes ces diminutions de vîteſſe? quel ſera l'ordre de la ligne qui l'exprimera? ſera-ce une ligne droite ou une ligne d'un ordre ſupérieur? Dans le cas même où ce ſeroit une ligne droite, quelle ſera ſon équation? On ſent au premier abord, que ſi une pareille découverte n'eſt pas impoſſible, elle eſt du moins très-difficile, & que probablement la choſe ſera encore long-tems inconnue par les variations à l'infini qu'eſſuie la cauſe productrice.

D'un autre côté, la même réſiſtance du fond agit ſur les diverſes vîteſſes exprimées par les ordonnées de la parabole FEH, c'eſt-à-dire que dans la ſuppoſition de l'équilibre, & toutes choſes d'ailleurs égales, GE ſera détruite & que cette deſtruction ſe fera pareillement ſentir (92) de proche en proche juſqu'à la ſuperficie. Mais l'on ſent en même-tems que la loi d'après laquelle cette diminution s'opérera dans les élémens de la parabole FEH eſt auſſi difficile à trouver que pour les élémens du rectangle GN.

Si l'on ajoute à cela la réſiſtance que les tranches élémentaires d'aval oppoſent à celle d'amont (97), réſiſtance qui varie à l'infini ſuivant les localités, on verra ſans peine qu'une décou-

verte pareille est impossible, & que ce seroit perdre son tems que de s'en occuper.

100. L'on voit par-là qu'il est impossible d'exprimer exactement par une équation, la loi d'après laquelle les eaux des torrens & des rivières se meuvent, même en supposant que le lit fût parfaitement de niveau & les eaux de même profondeur d'un bord à l'autre: à plus forte raison, si l'on suppose qu'il y a des inégalités qui présentent plus d'obstacles dans certains endroits que dans d'autres, il faut donc se borner à des *à-peu-près*, en se conciliant d'ailleurs, autant qu'il sera possible, tant avec les principes généralement reçus, qu'avec les observations & l'expérience. En conséquence nous allons examiner le même sujet sous d'autres points de vue.

Sur cela il faut se borner à des approximations.

101. Quelles que soient les inégalités du lit d'une rivière prise d'un bord à l'autre, ainsi que les diverses vîtesses qui animent chaque filet, il est certain qu'il existe une vîtesse moyenne dont le caractère distinctif est que, si elle étoit la même pour tous les filets, la dépense d'eau de la rivière seroit la même. La chose est évidente.

Moyen de trouver cette approximation.

Il n'est pas moins certain, & l'expérience le prouve amplement, que, toutes choses d'ailleurs égales, la pente du lit produit toujours sur les eaux une accélération plus ou moins grande qui affecte à-peu-près également tous les filets, puisqu'ils sont censés avoir tous la même pente ou à-peu-près.

Par conséquent, en regardant tous les filets comme animés d'une même vîtesse égale à la vîtesse moyenne, on peut sensiblement regarder cette vîtesse comme produite par l'accélération occasionnée par la pente du lit.

Cela posé, si le lit pouvoit être regardé comme un plan incliné parfaitement uni, & qui n'opposât aucune espèce de résistance, soit directe, soit indirecte, au mouvement de l'eau, il est de fait, qu'à chaque point de ce plan incliné, la vîtesse dont nous parlons seroit exprimée par l'ordonnée correspon-

dante de la parabole dont l'abſciſſe feroit la pente & le paramètre $=60$ pieds, conformément à la théorie de la chûte des graves. Donc, en ſuppoſant des obſtacles quelconques, puiſque l'effet de ces obſtacles eſt de diminuer proportionnellement l'intenſité de la gravité qui produit l'accélération, la vîteſſe dont il s'agit ſera alors exprimée à tous les points du cours par les ordonnées d'une parabole, dont l'abſciſſe ſera la chûte ou pente correſpondante, & dont le paramètre ſera d'autant moindre que 60 pieds, qu'il ſe trouvera plus d'obſtacles à ſurmonter.

Nommons m, le volume d'eau; v, ſa vîteſſe moyenne; & s ſa ſection, ſuivant la théorie dépouillée de tout obſtacle: v' ſa vîteſſe moyenne, & s' ſa ſection effective par les obſtacles; h ſa pente ſuivant la théorie, & p l'action naturelle de la gravité, ou l'eſpace qu'elle fait parcourir aux graves dans une ſeconde, & qu'on ſait être $=30$ pieds, à très-peu de choſe près.

La depenſe de la rivière étant la même au même erdroit, on aura $m=sv$, & $m=s'v'$; par conſéquent $sv=s'v'$, & $v'=\frac{sv}{s'}$. Mais par la théorie de la chûte des corps $v=\sqrt{2ph}$. Donc on aura $v'=\frac{s}{s'}\sqrt{2ph}$, & $v'^2=\frac{s^2}{s'^2}\,2ph$; équation à la parabole dont les ordonnées ſont $=v'$, les abſciſſes $=h$, & le paramètre $=2p\times\frac{s^2}{s'^2}$.

Or, dans l'état de ſimple théorie, on a la parabole dont l'équation eſt $v^2=2ph$, parabole qui ne diffère de celle que nous venons de voir, que par ſon paramètre qui eſt $=\frac{s^2}{s'^2}\times 2ph$.

Donc *la parabole qu'on aura, d'après l'expérience & l'état actuel des choſes, ſera la même que la parabole d'après la théorie, en multipliant ſon paramètre par le quarré du rapport des ſections des courans au même endroit, ſuivant la théorie & ſuivant l'expérience reſpectivement.*

Nous avions déjà démontré cette propriété au n. 24 de notre *Eſſai ſur la conſtruction la plus avantageuſe des machines hydrau-*

liques; mais c'étoit relativement à l'eau qui se meut dans des coursiers, & d'après les expériences faites à ce sujet : nous étions même entrés à cet égard, dans un assez grand détail aux n. 13 = 23, que nos lecteurs feront bien de consulter. On y verra que les expériences doivent être la base des opérations sur la vîtesse des courans; que celles du C. Bossut ne peuvent s'appliquer qu'aux coursiers, même avec des modifications, & aucunement aux rivières; & que sur ce dernier objet les expériences nous manquent totalement : d'où l'on conclura facilement l'insuffisance & la circonscription de l'opération que nous venons de donner.

En effet, pour que cette opération fût générale, il faudroit que le rapport des sections du courant, suivant la théorie & l'expérience respectivement, ou $\frac{s}{s'}$ fût constant. Or, ce rapport varie continuellement, ainsi qu'on peut le conclure de la proportion $v.v'::s':s:$ car, 1°. les vîtesses sont plus ou moins grandes, toutes choses d'ailleurs égales, suivant les masses ou volumes d'eau, ainsi qu'on le voit dans la jonction de deux rivières, dont la vîtesse augmente au-dessous du confluent aux dépens de la section; 2°. elles sont aussi plus ou moins grandes suivant la pente, & nous verrons que cette pente varie à chaque instant dans le lit des rivières.

Ainsi, sous tous ces divers rapports, cette équation ne pourroit servir que dans le cas où tout seroit constant, le volume d'eau & la pente : ce qui n'a jamais lieu dans la nature. Par conséquent elle ne peut que nous laisser entrevoir les résultats par approximation. Nous devons donc renoncer au calcul, & nous borner au raisonnement synthétique appuyé sur l'observation. Quant à l'analyse, elle ne doit être employée que dans l'évaluation des dimensions des moyens destinés à contenir le courant auquel, dans ce cas, on attribuera la vîtesse relative à la théorie, comme étant la plus grande possible.

Comment on doit prendre la ſection d'une rivière.

102. Pour trouver les ſections dont nous venons de parler, & par conſéquent leur rapport, on ſuivra le procédé que nous allons expoſer.

1°. On prendra le profil tranſverſal du lit, par le moyen des ſondes répétées le plus poſſible & dont les diſtances reſpectives ſoient connues ; & l'on aura la ſection effective du courant.

2°. Avec l'inſtrument de Pitot, dont nous donnerons la deſcription plus bas, on prendra pareillement la vîteſſe moyenne des eaux à chaque ſonde. En ajoutant toutes ces vîteſſes moyennes, & en diviſant leur ſomme par le nombre des ſondes, on aura la vîteſſe moyenne effective.

3°. En multipliant la ſection par la vîteſſe moyenne, on aura la maſſe ou volume d'eau qui paſſera par cette ſection dans une ſeconde.

4°. On prendra, avec le niveau, la pente de la rivière, ainſi que nous le dirons dans ſon tems ; & par l'équation $v = \sqrt{2ph}$ ci-deſſus (101), on trouvera la vîteſſe moyenne qu'auroient eu les eaux au même endroit, ſuivant la théorie débarraſſée de tout obſtacle.

5°. Enfin, en diviſant la maſſe ou volume d'eau de la rivière par cette vîteſſe, on aura la ſection qu'eût formé le courant au même endroit, ſuivant la ſimple & pure théorie.

Ce procédé eſt trop ſimple pour avoir beſoin d'explication, & chacun en ſentira facilement les raiſons.

En quel endroit la vîteſſe d'une rivière arrivera à l'uniformité.

103. Suppoſons, à préſent, que par la réſiſtance & la lenteur du mouvement des tranches antérieures (97), l'eſpace parabolique FGHE ſoit anéanti, il eſt viſible qu'il reſtera toujours le rectangle GN, dont les élémens, exprimant les vîteſſes acquiſes par les différentes particules de la tranchée FfgG, en vertu de la chûte ou pente AP, nous font voir que tant que la pente ſera réelle & qu'elle ne s'anéantira pas, l'accélération aura conſtamment

ment lieu. C'eſt auſſi ce que nous prouve (101) l'équation $v' = \frac{5}{7} \times \sqrt{2ph}$: car on y voit que, toutes choſes égales d'ailleurs, la vîteſſe augmentera par l'augmentation de la hauteur du plan incliné.

Or, il eſt démontré qu'un corps qui ſe meut dans un fluide, éprouve, à chaque inſtant, de la part de ce fluide, une réſiſtance proportionnelle à la ſuperficie de la projection de la partie qui choque le fluide, & au quarré de ſa vîteſſe; que ſi ce corps eſt animé d'un mouvement accéléré, cette réſiſtance s'accroiſſant continuellement comme le quarré de la vîteſſe, il y aura un terme où elle ſera aſſez forte pour détruire, à chaque inſtant, l'effet de l'accélération; & par conſéquent, le corps ſe mouvra d'un mouvement uniforme avec la vîteſſe précédemment acquiſe.

Donc, par la même raiſon, lorſque le courant s'approche de la mer, il éprouvera, de ſa part, une réſiſtance qui ſe fait ſentir de proche en proche ſur les tranches affluentes, juſqu'à une certaine diſtance, & qui détruiſant, à chaque inſtant, l'effet de l'accélération, ne permettra plus aux eaux de ſe mouvoir que d'un mouvement uniforme avec la vîteſſe précédemment acquiſe. C'eſt ce qui eſt prouvé par l'expérience de tous les fleuves à meſure qu'ils s'approchent de leur embouchure.

Principe fondamental ſur la force des courans & la réſiſtance qui la contrarie.

104. En général dans tous les courans poſſibles, on doit diſtinguer leur force & la réſiſtance qui la contrarie, la force du courant eſt le produit de la maſſe par ſa vîteſſe réduite, & cette vîteſſe eſt toujours plus ou moins grande ſuivant la pente. Cette même force exerce ſon action ſur le fond & ſur les bords, ſoit tout-à-la-fois, ſoit ſéparément. La réſiſtance du fond peut réſulter, 1°. de la groſſièreté & de la peſanteur ſpécifique des matériaux qui le compoſent. 2°. de la petiteſſe de la pente qui, ſuivant les circonſtances, peut s'anéantir & même ſe changer en contre-pente. 3°. Du degré de tenacité des matières qui compoſent ce fond. Celle des bords dépend, 1°. de leur di-

rection relativement à celle du courant. 2°; de la grosseur & du poids des matériaux qui les composent. 3°; enfin, du degré de tenacité & d'adhésion à ces mêmes matériaux. Si la force du courant est inférieure ou égale à la résistance, tout rentrera dans le même état; mais si elle est plus grande, il y aura du changement dans le fond & dans les bords, le plus fort devant l'emporter sur le foible par la destruction de l'équilibre; & dans ce cas, le courant ne cessera d'agir que lorsque sa force sera devenue moindre par la résistance.

Autres principes fondamentaux.

105. Outre ce principe fondamental, il y en a encore trois qui, ainsi que le précédent, servent de bases à la théorie des torrens & rivières, savoir :

1°. Un courant quelconque tend toujours à suivre la ligne droite selon la direction de son mouvement.

2°. Un courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas, ou dans celui où il y a le plus de pente.

3°. Si un courant trouve divers obstacles sur son passage, il établira son cours où il trouvera le moins de résistance.

106. Tous ces principes sont évidents; il ne nous reste plus qu'à en faire l'application. C'est de quoi nous allons nous occuper, en commençant par les torrens.

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens considérés sur les Montagnes où ils se forment.

107. LA condition essentiellement requise pour la formation d'un torrent, exige deux choses; savoir :

1°. Que *dans une pluie ou une fonte de neiges, l'eau qui arrose la terre dans un instant quelconque ne puisse pas être entièrement absorbée, pendant cet instant, par la terre qui la reçoit.*

2°. *Que l'eau superflue & qui ne sera pas absorbée par la terre ait la liberté de s'écouler.*

La chose est évidente : car un torrent ne résulte que des eaux superflues qui s'écoulent superficiellement. Il faut donc qu'il y ait des eaux que la terre refuse de recevoir & qu'elles aient la liberté de s'écouler.

108. Il suit de-là que *le torrent se formera d'autant plus aisément & fera d'autant plus de progrès que la pluie ou la fonte des neiges sera plus abondante, que la montagne sera plus ardue, & que les matières qui la composent auront moins de tenacité.* Conséquence qui en résulte.

Car 1°. plus la pluie ou la fonte des neiges sera grande, plus, toutes choses d'ailleurs égales, l'eau superflue sera abondante ; 2°. cette eau s'écoulera d'autant plus aisément, & acquerra d'autant plus de force, que la montagne sera plus ardue ; 3°. enfin, cette même cause creusera un lit sur le penchant de la montagne avec d'autant plus de facilité, que les matières qui composeront la montagne seront moins tenaces.

109. *Si sur le penchant de la montagne il se trouve quelque petit vallon, quelque enfoncement, ou, en général, quelque endroit plus bas que les autres, ce sera en cet endroit que le torrent commencera à se former.* En quel endroit le torrent commencera à se former.

Car (105 2°.) le courant s'établit toujours à l'endroit le plus bas.

110. *Le fond du lit d'un torrent qui descend d'une montagne, doit toujours s'approcher de plus en plus de la verticale.* Le fond du torrent s'approchera toujours plus de la verticale.

En effet, plus le torrent s'éloignera de son origine, plus il aura de force, soit à cause de l'augmentation de vîtesse résultante d'une plus grande chûte, soit à cause de celle du volume de ses eaux qui s'accroît continuellement par l'affluence de celles qu'il ne cesse de recevoir (63). Or, il est impossible, à

cauſe de la pente de la montagne, que le lit ſe mette jamais en équilibre avec l'action de l'eau, puiſque la moindre force ſuffiroit pour faire deſcendre les matériaux, à moins qu'ils n'euſſent une très-grande tenacité. Donc le courant étant conſtamment plus fort que la réſiſtance du fond, agira toujours de plus en plus ſur le lit (104), qui ſera par conſéquent d'autant plus creuſé que l'origine ſera plus éloignée, ou que le torrent s'avancera davantage vers la fin de ſa chûte, c'eſt-à-dire, que le fond du lit s'approchera toujours davantage de la verticale.

Cela eſt d'ailleurs confirmé par l'expérience : car on voit toujours que le lit s'enfonce de plus en plus au-deſſous du penchant, à meſure qu'il s'approche du pied de la montagne.

Les bords du torrent ſe taluderont inſenſiblement.

111. *Lorſqu'un torrent creuſe ſon lit ſur le penchant d'une montagne, les bords prennent inſenſiblement un talus plus ou moins conſiderable, ſelon la nature des matières qui compoſent la montagne.*

Car quand même cet effet n'auroit pas lieu immédiatement après la pluie ou la fonte des neiges, & quand la tenacité des matières s'y oppoſeroit, dans la ſuite les petites pluies, le gel & dégel, les influences de l'air, & ſur-tout la tendance des matériaux à deſcendre, leur feront néceſſairement prendre le talus convenable.

Les talus du torrent ſeront ſillonnés par des torrens ſecondaires.

112. *Les bords d'un torrent pris ſur une montagne ſeront bientôt ſillonnés par d'autres torrens.*

Car les bords d'un torrent prenant un talus (111) doivent être conſidérés eux-mêmes comme le penchant d'une montagne dont les eaux ſuperflues, dans une pluie ou une fonte de neige, ſe rendent au torrent, comme à l'endroit le plus bas (105 2°.). D'ailleurs ces mêmes bords ne réſultant que de l'éboulement des terres, doivent avoir, en général, moins de tenacité & ſouvent plus de rapidité que le penchant même de la montagne. Donc (108), ils ſeront bientôt ſillonnés par un

grand nombre de torrens ſecondaires, dont les lits reſpectifs ſuivront les mêmes loix que celui du torrent principal (110).

Nous ajouterons à cela, que ces torrens ſecondaires, en creuſant leur lit, faciliteront l'aggrandiſſement de celui du torrent principal dont les bords n'offriront plus que des pointes iſolées & aiſées à détacher, & par-là même ils augmenteront rapidement la largeur de ce même lit, qui ſe convertira dans la ſuite, en une vallée plus ou moins conſidérable. Tout cela eſt conforme à l'expérience, ainſi qu'on peut aiſément s'en aſſurer, par l'inſpection de quelque montagne fort ardue, où, par l'effet des défrichemens ou d'autre cauſe quelconque, il commence à ſe former des torrens.

113. *L'origine du torrent doit continuellement s'approcher du ſommet de la montagne.*

L'origine du torrent s'approchera continuellement du ſommet de la montagne.

Pour s'en convaincre, il n'y a qu'à faire attention que les parties qui compoſent le penchant d'une montagne ſont ſoutenues par celles qui leur ſont inférieures. Mais celles qui répondent à l'origine du torrent ceſſent d'être ſoutenues : donc elles s'ébouleront par les cauſes mentionnées ci-deſſus (111), ou dans les orages & dans les grandes fontes de neige elles ſeront entraînées avec plus de facilité que les autres, & par conſéquent l'origine du torrent doit continuellement monter.

Cela eſt conforme aux obſervations que nous avons faites en divers endroits ſur les progrès des torrens naiſſans, dont nous avons ſuivi le cours.

Le torrent peut diviſer une montagne en pluſieurs parties.

114. L'origine du torrent remontant continuellement, parviendra enfin au ſommet de la montagne; mais pour cela, l'excavation du lit ne ceſſera pas alors d'avoir lieu, puiſque les mêmes cauſes ſubſiſtent toujours. On peut même dire que cette excavation s'effectuera toujours plus rapidement, à cauſe que la ſphère du torrent devient toujours plus grande (111 & 112). Ainſi, quand même il ne ſe formeroit pas de torrent dans la partie poſtérieure & correſpondante de la montagne, on ſent

qu'après un long eſpace de tems, une montagne peut être partagée en pluſieurs parties par les torrens, ſi rien ne s'y oppoſe; & que s'il y a des rochers dans l'intérieur, il pourra du moins ſe former pluſieurs pointes ſéparées les unes des autres par des vallées plus ou moins profondes, ſelon le tems où les torrens ont commencé, la nature des matières de la montagne, la déclivité de ſon penchant, &c.

Origine des montagnes partielles.

115. Nous n'avons parlé juſqu'ici que des effets que produiſent les torrens ſur une ſeule montagne. Qu'on applique cette théorie aux maſſes primitives des montagnes dont nous avons parlé plus haut (9), & l'on en déduira facilement tous les effets détaillés au n. 54.

Conjectures ſur l'origine des détroits de Conſtantinople, des Dardanelles & de Gibraltar.

116. Ce que nous avons dit juſqu'à préſent nous fournit auſſi le moyen d'expliquer pourquoi certaines montagnes ſont coupées par des rivières. Que dans l'origine une contrée, par l'effet d'un affaiſſement ou par toute autre cauſe, ait été entièrement enfermée par une chaîne de montagnes, les eaux des ſources qui ſortoient de ces montagnes, & qui par leur volume pouvoient former une rivière, ſe feront ramaſſées en cet endroit comme le plus bas (105 2°.) & y auront formé un lac: les eaux de ce lac ſe ſeront élevées juſqu'au point le plus bas de la crête des montagnes ambiantes; alors elles ſeront ſorties par cet endroit, & ſe ſeront précipitées le long du penchant extérieur qu'elles auront bientôt ſillonné par une profonde vallée. S'étant ainſi formé, dans cette chaîne, une ſolution de continuité (114), les eaux du lac auront baiſſé progreſſivement & proportionnellement à l'abaiſſement de cette partie de la crête, juſqu'à ce qu'enfin le lac ait diſparu.

C'eſt ainſi qu'ont probablement été formés les détroits de Conſtantinople, des Dardanelles & même celui de Gibraltar. Car, au lieu de ſuppoſer, avec certains auteurs, que, dans l'origine, la méditerranée n'étoit qu'un grand lac dont la ſuperficie étoit inférieure à ſa ſuperficie actuelle, & qu'un effort

violent de l'océan avoit rompu la barrière qui l'arrêtoit à Gibraltar, il eſt bien plus naturel de ſuppoſer que la ſuperficie de ce lac s'élevoit juſqu'au point le plus bas de la crête de la chaîne de Gibraltar, que les eaux des fleuves & des rivières qui s'y rendoient & qui excédoient celles d'évaporation, s'évacuoient par-là dans l'océan, & qu'inſenſiblement, ayant coupé cette chaîne par l'effet de leur chûte, la ſurface de la méditerranée aura baiſſé par degrés juſqu'à ce qu'elle ſoit parvenue au niveau de l'océan.

Tott rapporte dans ſes mémoires, qu'il a trouvé dans la Crimée, des anneaux de fer ſcellés dans le rocher, à une aſſez grande hauteur au-deſſus du niveau de la mer, & qu'ayant demandé à quel uſage ils ſervoient, les Tartares lui répondirent, que c'étoit pour amarrer les vaiſſeaux dans le tems que la mer s'élevoit à cette hauteur. Il ajoute, que les obſervations multipliées qu'il avoit faites dans la même contrée, ſur les dépouilles marines qui s'y rencontrent en divers endroits à une aſſez grande élévation au-deſſus du niveau actuel de la mer, venoient à l'appui de l'aſſertion des Tartares qui ne parloient que d'après la tradition du pays.

Les lacs traverſés par des rivières s'anéantiront tôt ou tard.

117. On doit encore conclure de là, que tous les lacs exiſtans, & qui, ſitués à une certaine hauteur au-deſſus du niveau de la mer, ſont traverſés par des fleuves, diſparoîtront un jour. Tels ſont entr'autres, le lac de Genève, en Europe, traverſé par le Rhône; le lac Ontorio, &c. dans l'Amérique ſeptentrionale, traverſé par le fleuve Saint-Laurent, &c. En effet, le fond de ces lacs s'exhauſſe continuellement par les dépôts de ſable & de limon que ces fleuves charient, tandis que le rocher ſur lequel ces fleuves coulent en ſortant des lacs, s'abaiſſe journellement, quoique inſenſiblement par la corroſion. Or, lorſque de deux points placés à différentes hauteurs, le plus bas s'élève & le plus haut s'abaiſſe continuellement, ils arrivent tôt ou tard à la même ligne de ni-

veau. Par conféquent, c'eft ce qui ne peut pas manquer d'arriver dans des tems plus ou moins reculés aux lacs dont nous parlons.

Après cette petite digreffion, qui néanmoins n'eft pas tout à fait étrangère au fujet que nous traitons, nous revenons aux torrens.

Particularités des torrens qui defcendent des montagnes où il ne refte plus de terre.

118. Il y a des montagnes que les torrens ont déjà dévaftées au point qu'il n'y refte plus que le rocher nud, fans aucune efpèce de terre végétale, ni d'arbres ou d'arbuftes. Dans ce cas, les torrens qui en defcendent nous offrent quelques particularités que nous allons expofer.

119. La première de ces particularités eft, que *les torrens qui defcendent de ces montagnes ont, toutes chofes d'ailleurs égales, des crues plus fortes & plus courtes que les autres.*

La chofe eft évidente, d'après ce que nous avons dit aux n. 70 & 71, auxquels nous renvoyons.

120. La feconde particularité eft que, *toutes chofes d'ailleurs égales, ces torrens charieront plus de pierres que les autres.* Car quoique ces montagnes foient tout à fait dépouillées de terre & qu'il n'y refte plus que le rocher, il eft rare que ce rocher ne fe fendille & ne fe décompofe pas par l'action du fec & de l'humide, du gel & du dégel, &c. Or, il eft vifible que dans un orage toutes ces pierres ainfi atténuées, feront entraînées par les eaux, & que la partie terreufe n'y entrera prefque pour rien, puifque ces montagnes font fuppofées en manquer.

La nature des tranfports des torrens dépend de celle des terreins des montagnes.

121. En général, les matières charriées par les torrens feront, toutes chofes égales, plus ou moins mêlées de terre, fuivant la qualité du terrein qui couvre les montagnes; c'eft-à-dire, que ces matières contiendront plus ou moins de terre, felon que le terrein des montagnes fera moins ou plus pierreux.

Le lit d'un torrent fur le penchant d'une montagne eft toujours finueux.

122. Quoique par le principe du n. 105 1°. *un courant tende toujours à fuivre la ligne droite, felon la direction de fon mouvement*, cependant la chofe n'arrive jamais aux torrens qui defcendent

dent des montagnes; au contraire, on remarque que leur lit est toujours sinueux & très-irrégulier; la raison en est fondée sur l'inclinaison plus ou moins considérable des couches de diverses matières que nous avons dit (45) former l'intérieur des montagnes. En effet, que le courant en creusant son lit, parvienne à une couche de rocher, dont l'inclinaison ne soit pas exactement dans le sens de la direction de son mouvement, il suivra d'abord cette couche, & par conséquent il s'écartera de sa direction; mais il ne peut la suivre sans attaquer les bords de son lit, qui bientôt le rejetteront pour le porter vers les endroits inférieurs, où il trouvera moins de résistance (105 3°.). Qu'au-dessous & en aval il rencontre les mêmes obstacles répétés, il éprouvera les mêmes variations : de sorte que *le vrai lit d'un torrent sur le penchant de la montagne où il se forme ne peut être que très-sinueux ; ce qui est d'ailleurs conforme à l'expérience.*

Ces sinuosités détruisent la force des torrens.

123. Il résulte de-là, que *ces sinuosités multipliées diminuent considérablement la vitesse & la force des torrens.* Et c'est en cela que nous devons admirer la sagesse de la providence; car si la chose n'étoit pas ainsi, aucune barrière ne pourroit modifier ces courans. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à supposer un torrent qui descend seulement de 200 toises ou 1200 pieds de hauteur : s'il ne rencontroit point d'obstacle, arrivé au bas de la montagne, l'action qu'il exerceroit sur la superficie d'un pied, équivaudroit au poids d'une colonne d'eau d'un pied carré de base, & de 1200 pieds de hauteur, c'est-à-dire à 84000 p., ou à 840 quintaux.

Examinons à présent les torrens au pied des montagnes & dans les plaines.

§. II.

Des Torrens considérés au pied des Montagnes où ils se forment.

Deux cas à examiner.

124. Nous avons deux cas à examiner; savoir :

1°. Celui où le penchant de la montagne se propage sans interruption jusqu'au bord de la rivière qui reçoit les eaux du torrent;

2°. Celui où cette continuité de pente ardue du penchant est interrompue par l'interposition d'une plaine entre la rivière & la montagne.

Dans chacun de ces deux cas, les torrens nous offrant des variations particulières, il est à propos de les examiner séparément.

PREMIER CAS.

Il y aura un intervalle entre le bas de la chûte du torrent & la rivière qui le reçoit. Fig. 5.

125. Nous avons vu (110) que le lit d'un torrent pris sur la montagne où il se forme, s'approche toujours davantage de la perpendiculaire ou verticale à mesure qu'il s'avance vers la fin de sa chûte; soit ABC (*fig.* 5.) la section d'une montagne au bas de laquelle se trouve une rivière CDE. Supposons qu'un torrent prenne sa source vers le sommet B, il creusera son lit suivant la courbe BFG, telle que les tangentes menées à ses divers points s'approcheront toujours plus du parallélisme avec la verticale BH : mais il est visible que cette courbe se trouve d'autant plus enfoncée dans le corps de la montagne, qu'elle s'approche davantage de la ligne du niveau AC qui passe par sa base. D'un autre côté, la rivière n'arrive qu'au point C; donc *il restera un intervalle CG entre la rivière & la courbe BFG, & cet intervalle sera compris dans l'intérieur de la montagne.*

Pente de cet intervalle.

126. La direction du torrent arrivé au bas de la chûte, tend à pousser, suivant KG, les matériaux qu'il a entraînés : mais

ces matériaux ne peuvent s'évacuer que dans la rivière CDE, & pour cela elles ont besoin d'être poussées avec une certaine force. Celle du courant dirigée suivant KG, est presqu'entièrement détruite par la réaction de CG : d'ailleurs, il faut une certaine pente au courant pour lui donner la force nécessaire au transport des matériaux, & GC n'en a point. Donc *les matériaux s'accumuleront au bas de la chûte, & le torrent se formera jusqu'à la rivière un nouveau lit, suivant la ligne KC, dont la pente lui donnera la force relative au transport des matériaux dans la rivière ;* ce qui est conforme à l'expérience.

127. On voit par-là que *la pente d'un torrent arrivé au pied de la montagne diminue*, puisque la ligne CK prolongée, entre dans la courbe BFG du lit en amont. La pente d'un torrent diminue au pied de la montagne.

128. *La pente du nouveau lit sera d'autant plus forte, que la grossièreté des matériaux sera plus grande.* Car plus les matériaux seront grossiers, plus il faudra de force au courant pour les charier. Or, la force primitive du courant ayant été presqu'entièrement détruite par la réaction du sol au bas de la chûte (126), il ne peut en recouvrer suffisamment que par la pente du nouveau lit : donc, cette force étant relative à la pente, cette pente devra être d'autant plus forte que les matériaux seront plus grossiers. Cette pente sera proportionnelle à la grossièreté des matériaux du fond.

129. *La longueur du nouveau lit KC sera d'autant plus considérable que la montagne aura plus d'empattement, & que les matières qui la formeront auront moins de tenacité.* Loi sur la longueur du cours de ce lit.

Car 1°. supposons la courbe BFG constante ; il est visible que plus la montagne aura d'empattement, ou ce qui est la même chose, moins le penchant BLC aura de pente, plus le point C sera éloigné du point correspondant G de la courbe, & par conséquent plus la ligne CK sera longue.

2°. Si, au contraire, on suppose le penchant BLC constant, moins les matières intérieures de la montagne auront de tenacité, plus la courbe BFG s'approchera de la verticale BH (1.0).

Or, il eſt viſible que dans ce cas la ligne CG augmentera à proportion, & qu'il en ſera de même de CK.

Conſéquence qui en réſulte.

130. Il ſuit de-là, que *ſi la montagne eſt rocher, cette longueur ſera preſque nulle.* Car alors la courbe BFG s'éloigne davantage de la perpendiculaire BH, & par conſéquent s'écarte moins du penchant BLC.

Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue & s'exhauſſera à la fin.

131. *Le lit s'abaiſſera au commencement d'une crue, & s'exhauſſera à la fin.*

1°. Au commencement de la crue, le volume d'eau & ſa force ſeront conſidérables & pourront corroder le fond. Donc le fond s'abaiſſera.

2°. Les eaux détachant toujours des matières de la montagne, les charieront le long de KC tant que la crue durera; mais à meſure que la crue ceſſera, les eaux n'ayant plus aſſez de force laiſſeront ſur la route les dernières matières enlevées. Donc, alors, le lit s'exhauſſera. Sur cela nous devons faire les obſervations ſuivantes.

1°. Si la crue eſt longue & forte, l'action des eaux ſur le fond ſe fera ſentir à proportion. Dans ce cas, le déblai ſera plus conſidérable que le remblai dont nous parlons; & après la crue, le lit ſera plus bas qu'auparavant.

2°. Si la crue eſt fort courte, le déblai ſera petit à proportion. Dans ce cas, il eſt poſſible que le remblais de la fin ſoit plus grand que le déblai; alors le lit ſera plus haut après la crue qu'auparavant.

Ainſi le lit du torrent ſera très-variable par ces déblais & remblais alternatifs; & c'eſt ce que nous avions avancé au n. 87. 1°.

Venons à préſent à l'examen du ſecond cas.

DEUXIÈME CAS.

Quelle ſera la

132. Soit la montagne ABC' (*fig. 6.*) au bas de laquelle ſe

trouve la plaine C'MC, terminée par la rivière CDE. Soit aussi un torrent qui, se formant au haut B de la montagne, tombe par la courbe quelconque BFK, & qui, du bas de la chûte K, se rend à la rivière par la ligne KC, *la pente de cette ligne sera la même que celle de la partie K C' comprise entre la courbe de chûte BFK & le penchant BLC' de la montagne.*

pente du lit au bas de la montagne. Fig. 6.

Pour le démontrer, on n'a qu'à supposer que le penchant BLC' prenne la position BL'C. Cette hypothèse ne peut altérer en aucune manière la courbe BFK, & le bas de la chûte sera par conséquent toujours au point K. Or, dans ce cas nous avons vu (128) que la pente du nouveau lit KC seroit proportionnelle à la grossièreté des matériaux : donc la même chose aura lieu si le penchant prend la courbure KLC' & se termine en C' au lieu de se terminer en C.

133. Donc 1°. *si le penchant du terrein correspondant à C'C est supérieur à cette ligne, le torrent s'y établira en pleine terre, & creusera jusqu'à cette même ligne.*

Conséquences qui en résultent.

2°. *Si ce penchant coïncide avec cette ligne, le torrent y coulera superficiellement.*

3°. *Si enfin ce penchant est inférieur, & qu'il prenne la position C'MC, le torrent formera un remblai jusqu'à la rivière.*

Tout cela est évident d'après la proposition précédente.

134. Il suit encore de la même proposition, que *dans ce dernier cas, si le torrent n'est pas contenu sur la ligne C'C il se répandra sur les campagnes voisines & correspondantes.*

Cas où le torrent se répandra sur les domaines adjacens.

Car (105 2°.) le torrent doit se porter vers les endroits les plus bas. Or, par hypothèse, les campagnes correspondantes sont inférieures à la ligne C'C.

Cela, d'ailleurs, n'est malheureusement que trop démontré par l'expérience; car, dans les pays montueux, on voit à chaque pas les domaines les plus précieux, se couvrir journellement des dépôts des torrens qui descendent des montagnes supérieures à ces domaines.

C'eſt-là l'origine des terreins graveleux que nous rencontrons ſouvent au pied des montagnes, où ils forment la continuité des penchans ſupérieurs correſpondans, mais avec une pente beaucoup plus douce. On les reconnoît facilement en ce que la partie pierreuſe y domine ſur la partie terreuſe. Dans pluſieurs départemens du Midi on leur donne le nom de Greſq.

Les dépôts peuvent être utiliſés par le génie civil & par l'agriculture.

135. Ces ſortes de terreins, conſidérés relativement au génie, ont une propriété eſſentielle. Cette propriété conſiſte en ce que les chemins qu'on y place, n'ont beſoin d'aucun apprêt, & qu'ils ne ſe dégradent que très-rarement. La raiſon en eſt que la partie terreuſe forme une eſpèce de ciment qui lie les pierres & donne à l'enſemble plus de conſiſtance que ſi l'on n'employoit que de la pierraille, comme on eſt en uſage de le faire. Par conſéquent la nature nous indique que les engravemens des chemins doivent être faits avec un mêlange de terre & de pierre. Nous pourrons, dans ſon tems, traiter *ex profeſſo* cet important objet.

Ces mêmes terreins, conſidérés relativement à l'agriculture, ont l'avantage d'être très-propres à la culture de la vigne & de l'olivier, lorſque le climat & l'expoſition s'y prêtent. L'expérience, en effet, nous apprend que les vins & les huiles qu'on y recueille ſont toujours d'une qualité ſupérieure.

Revenons à notre ſujet.

Comment on détermine la pente à donner au lit d'un torrent ſur une chauſſée.

136. D'après ce que nous avons dit ci-deſſus, il eſt viſible que, lorſque le terrein C'MC eſt inférieur au prolongement C'C de la ligne KC', ſi l'on veut empêcher le torrent de s'extravaſer dans les domaines adjacens, il faut le contenir ſur une chauſſée ou de toute autre manière, & le conduire juſqu'à la rivière la plus voiſine. Il n'eſt pas moins viſible que la ligne CC' n'eſt point arbitraire, & que ſa pente doit être déterminée ſur celle de KC' (132). Par conſéquent, lorſqu'on aura à conſtruire des ouvrages relatifs à cet objet, on profilera d'abord la ſuperficie KC'MC de l'eſpace compris entre l'extrêmité K de la

chûte du torrent & le bord C de la rivière; & d'après cette opération, on déterminera la position de C'C qui doit avoir la même pente que KC', ainsi que nous venons de le dire.

137. Supposons qu'on donnât à C'C plus ou moins de pente qu'il ne lui en faut. Dans le premier cas, il y auroit une augmentation de remblais à pure perte, & le torrent dégraderoit les travaux jusqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C (132).

Dans le second cas, le fond s'exhausseroit par des dépôts jusqu'à ce qu'il fût parvenu à la ligne C'C; & dans ce tems-là il s'extravaseroit & se répandroit sur les domaines adjacens (134).

Ainsi, nous le répétons, *la pente C'C n'est point arbitraire, mais elle doit être réglée sur celle de K C'*.

138. Supposons que la rivière s'éloigne en prenant la position NOP, ou qu'elle s'approche en prenant celle QRS. La chaussée du lit augmentera ou diminuera de hauteur proportionnellement à sa longueur.

Dans le premier cas, le point C tombant sur N, tirons la ligne NK' parallèle à CK, il est visible que NK' sera supérieure à CK : donc le remblai augmentera en hauteur & en longueur.

Dans le second cas, le point C tombant sur Q, tirons QK'' parallèle à CK, elle tombera au-dessous de CK : donc le remblai diminuera en hauteur & en longueur.

139. Il suit de-là que *les torrens doivent être conduits aux rivières par la ligne la plus courte*. Car plus la ligne sera courte, moins les remblais seront considérables & moins les dépenses seront fortes. Donc on doit conduire les torrens aux rivières par la voie la plus courte.

140. Si le lit qu'on assignera est trop large, les eaux, y ayant peu de profondeur, y auront aussi moins de force pour entraîner les matériaux qui descendent de la montagne. D'où il suit que les dépôts exhausseront le fond, jusqu'à ce que le lit ait assez de pente pour donner aux eaux la force nécessaire au transport des matières entraînées. Si le lit est trop large, le fond s'élevera.

Donc plus le lit sera étroit, plus la pente sera petite.

141. Il suit de-là, que *la pente du lit d'un torrent devra être d'autant moindre que le torrent sera plus resserré.* Car alors les eaux perdant moins de leur force par les obstacles répandus sur le fond, n'auront pas besoin de réparer leur pente par une augmentation de pente.

Et moins la chaussée sera élevée.

142. Donc, si le torrent doit être conduit à la rivière voisine par une chaussée, *le remblai sera d'autant moins élevé que le lit sera plus resserré.*

Importance des principes précédens, pour les pays de montagnes.

143. Les principes que nous venons d'établir, quoiqu'encore imparfaits à cause de la nouveauté du sujet, sont néanmoins de la plus haute importance pour tous les pays de montagnes. On sait, en effet, que, dans ces pays, les domaines les plus précieux sont toujours situés au fond des vallées & le long des rivières, & qu'ils sont en même tems dominés par des montagnes, d'où les eaux d'orage descendent par la voie des torrens. Si l'on ne veut pas qu'ils soient engloutis par les décombres des montagnes, il faut nécessairement assigner un lit à ces torrens; & l'on voit par ce qui précède, que pour opérer à cet égard d'une manière sûre & économique, il faut, en attendant mieux, se conformer à ce que nous venons de prescrire.

§. III.

Des causes des Torrens & des effets qui en résultent.

La première cause de la formation des torrens est la destruction des bois des montagnes.

144. *La destruction des bois qui couvroient nos montagnes, est la première cause de la formation des torrens.*

La raison s'en présente d'elle-même. Ces bois, soit taillis, soit de haute-futaie, interceptoient, par leur feuillage & par leurs branches, une partie considérable des eaux pluviales & de celles d'orage. La partie restante & qu'ils ne pouvoient pas retenir, ne

ne tomboit que goutte à goutte, & dans des intervalles assez longs pour qu'elle eût le tems de filtrer dans les terres. D'autre part, la couche de terre végétale qui s'accroissoit annuellement par la chûte des feuilles, s'imbiboit d'une quantité considérable de ces eaux. Enfin les touffes d'arbrisseaux rompoient & détruisoient, dès leur origine, les torrens qui pouvoient se former nonobstant toutes ces raisons. Les bois étant détruits, les eaux d'orage n'ont plus trouvé d'interception dans leur chûte. Ne pouvant pas, à raison de leur abondance, être absorbées par la terre à mesure qu'elles tomboient, elles ont coulé superficiellement, &, n'y ayant plus de touffes qui rompissent & divisassent leur cours, elles ont formé les torrens, ainsi qu'il a été dit (107 & 113).

145. *Les défrichemens sur les montagnes sont la seconde cause de la formation des torrens.*

La deuxième cause est le défrichement des montagnes.

Car nous avons démontré (108) qu'un torrent se formeroit avec d'autant plus de facilité, que les matières qui composeroient la montagne auroient moins de tenacité. Or, les défrichemens, en rendant les terres meubles, ont diminué cette tenacité : donc ils ont favorisé la formation des torrens.

L'on voit par-là combien a été mal entendue & peu réfléchie la loi, rendue sous l'ancien régime, qui autorisoit les défrichemens, pourvu que l'on construisît, par intervalles, des murs de soutenement, pour arrêter les terres sur les penchans des montagnes. On n'a pas senti que, dans une infinité de contrées, on se bornoit à faire deux ou trois récoltes dans un défrichement, & qu'ensuite on l'abandonnoit. Conséquemment il étoit naturel que les murs de soutenement devant plus coûter que ne vaudroient les récoltes, on ne les construiroit pas. Aussi c'est-là ce qui est arrivé. Cependant il en est résulté jusqu'à présent, & il en résultera pour l'avenir, les désastres les plus affreux, ainsi que nous allons le voir.

Le premier désastre qui en résulte est la ruine de nos forêts.

146. Le premier désastre produit par les deux causes dont nous venons de parler, est *la ruine de nos forêts.*

S'il avoit existé des loix sages & qu'on eût soigneusement tenu la main à leur exécution, nous aurions aujourd'hui des bois de construction assez abondans pour nous passer de l'étranger. Nous aurions aussi en abondance des bois de charpente & de chauffage. On sent que tous ces objets sont essentiellement nécessaires dans un état bien organisé. Cependant ils nous manquent au point que dans un grand nombre de communes on n'a pas même du bois de chauffage. Le mal vient de loin, & il est très-instant d'y remédier.

Le deuxième désastre est la perte des pâturages sur plusieurs montagnes.

147. Le second désastre est *l'anéantissement en une infinité d'endroits de la couche végétale qui couvroit nos montagnes.*

Cette couche donnoit autrefois d'abondans pâturages pour les bêtes à laine. Emportée par les orages & les torrens, il ne reste plus aujourd'hui sur ces montagnes qu'un rocher nud & aride. De-là il résulte nécessairement une diminution dans le menu bétail qu'on auroit pu nourrir en France, si ces pâturages avoient continué d'exister.

Le troisième désastre est la ruine des domaines le long des rivières, & de ceux au bas des montagnes.

148. Le troisième désastre est *la ruine des domaines qui sont le long des rivières.*

Nous avons vu (70) que les crues étoient d'autant plus fortes, que les montagnes étoient moins boisées & plus décharnées. Ces crues sont donc plus fortes aujourd'hui par l'effet des deux causes mentionnées ci-dessus, qu'elles ne l'étoient autrefois: donc elles doivent causer, & elles causent réellement beaucoup plus de dégâts aux domaines riverains qu'elles n'en causoient autrefois.

D'autre part, nous avons vu (134) qu'il pouvoit arriver, comme en effet il n'arrive que trop souvent, que les torrens sortant de leur lit, couvrissent de dépôts les domaines adjacens situés au pied des montagnes; ce qui les dénature absolument.

Or, la chofe n'a lieu que depuis que, par les deux caufes ci-deffus (144 & 145), les torrens fe font formés.

149. Le quatrième défaftre eft *le dommage qu'éprouve la navigation des rivières par les divifions qui font la fuite des fortes crues.*

Le quatrième défaftre eft le préjudice qu'éprouve la navigation des rivières.

Nous verrons plus bas qu'une crue, forte & fubite, divife fouvent la rivière en plufieurs branches. En attendant, il nous fuffit de dire, qu'autrefois cela étoit peu fréquent. Ce qui le prouve, c'eft qu'en général les rivières étoient prifes pour limites des terroirs des communes; ce qui n'auroit pas été, fi, dans ces tems-là, ces rivières avoient été fujettes aux mêmes divifions qu'aujourd'hui. Or, il eft vifible que ces divifions en plufieurs branches, portent un très-grand préjudice à la navigation & à la flottaifon des rivières.

150. Le cinquième défaftre confifte dans *les conteftations que les divifions des rivières font naître entre les propriétaires riverains oppofés.*

Le cinquième défaftre confifte dans les procès réfultans de la divifion des rivières en plufieurs branches.

Car, fi dans l'origine & à l'époque où la rivière n'avoit qu'un lit, le courant formoit la ligne divifoire, il eft vifible que ce courant, venant à changer, par la divifion en plufieurs branches, la ligne divifoire changera auffi. Sa pofition devenant variable & incertaine, il faut qu'il en réfulte des procès; & c'eft malheureufement ce qui n'arrive que trop fouvent. Cependant la chofe n'auroit pas lieu fi l'on n'avoit pas détruit les bois & les couches de terre végétale fur les montagnes.

151. Le fixième défaftre réfulte des *dépôts qui fe forment à l'embouchure des fleuves, & qui interceptent fouvent la navigation.*

Le fixième défaftre eft l'obftruction de l'embouchure des fleuves.

Car il eft démontré, par l'expérience, que les atterriffemens qui fe forment à l'embouchure des fleuves, gênent extrêmement la navigation. Il eft auffi démontré, par l'expérience, que ces atterriffemens fe font opérés beaucoup plus rapidement, dans ces derniers tems, qu'autrefois. L'exemple du Rhône,

que nous avons rapporté au n. 11, en eſt une preuve convaincante. Or ces dépôts ne peuvent provenir que des dépouilles des montagnes défrichées.

Le ſeptième déſaſtre eſt la diminution des ſources.

152. Enfin le ſeptième déſaſtre conſiſte dans *la diminution des ſources qui alimentent les fleuves & les rivières dans leur état ordinaire.*

Nous avons vu (45), que les ſources provenoient des eaux pluviales qui, filtrant à travers la terre, ſe rendoient dans des réſervoirs ſouterreins, d'où elles s'échappoient enſuite par de petits canaux & paroiſſoient à la ſurface de la terre. Or, ſi les montagnes ſe dépouillent de leur couche de terre végétale, & qu'il n'y reſte plus que le rocher nud, il eſt viſible que les eaux pluviales ne filtreront plus, & qu'elles s'écouleront toutes ſuperficiellement (70) : donc les ſources doivent diminuer, ainſi que les rivières qui les alimentent : il viendra même un tems où les rivières, qui aujourd'hui ſont navigables, ceſſeront de l'être. A la vérité, cette époque eſt encore éloignée ; mais tôt ou tard elle arrivera, ſi l'on ne détruit pas la cauſe qui doit opérer cet effet.

Nous allons à préſent parler des rivières.

SECTION III.

Des Rivières.

Diviſion de cette ſection.

153. Nous diviſerons cette ſection en deux chapitres. Dans le premier, nous examinerons les rivières qui charient du gravier ; & dans le ſecond, nous traiterons de celles qui ne charient que du ſable & du limon.

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

Le fond des vallées où les rivières ont établi leur lit a été encombré par des pierres.
Fig. 7.

154. Suppofons une vallée BCD (*fig.* 7.) formée par les montagnes ABC, CDE, & au fond de laquelle fe trouve une rivière ; s'il ne s'y rencontre aucune pierre, il eft vifible que cette rivière occupera conftamment l'endroit C le plus bas de cette vallée, fans pouvoir s'étendre ni à droite ni à gauche, puifqu'elle trouveroit le penchant des montagnes de chaque côté ; & dans ce cas, il ne fauroit y avoir de différence entre *le lit majeur* & *le lit mineur* (90), à caufe que le lit fera un véritable canal terminé de part & d'autre, par le penchant de ces mêmes montagnes. Mais fi par quelqu'événement que ce foit, le fond de la vallée fe remplit de pierres, il ceffera d'avoir la forme d'un canal, & prendra la pofition de la droite FG : pour lors la rivière coulera fur le plan dont cette ligne eft la coupe tranfverfale ; & fi ce plan a une certaine largeur FG, telle qu'elle ne puiffe être entièrement occupée que par les eaux dans les grandes crues (89 1°.) la rivière aura un *lit majeur* & un *lit mineur*. Or, tel eft l'état de toutes les rivières à fond de gravier, & dans lefquelles on diftingue les deux lits dont nous venons de parler : donc le fond des vallées que *ces rivières parcourent a été encombré par des dépôts de pierre.*

Pour s'en convaincre, on n'a qu'à fonder la profondeur du gravier fur divers points de FG, on trouvera que cette profon-

deur augmente en avançant vers le point le plus bas C de la vallée, & qu'au contraire elle diminue en s'approchant des bords F & G.

Les domaines riverains de niveau avec le lit, ont été gagnés sur ce lit.

155. *Si le gravier du lit majeur de la rivière n'occupoit que la largeur HK, & que laterralement il se trouvât des domaines qui occupassent les espaces FH, KG placés sur la même ligne de niveau FG, ou à-peu-près, que HK, on peut être assuré que ces domaines ont été gagnés sur le lit majeur de la rivière.*

Car, si cela n'étoit pas ainsi, les lignes FH,KG seroient la suite des penchans correspondans BF,DG. Or la continuité des penchans ne se forme jamais de lignes horisontales.

En creusant dans ces domaines on trouvera le gravier.

156. Il suit de-là *qu'en creusant à quelque profondeur sur les domaines riverains FH,KG, on trouvera infailliblement le gravier de la rivière.*

Cela est évident, puisque ces domaines ont été gagnés sur le lit majeur & sont par conséquent superposés au gravier.

Cette observation est très-utile dans le cas où l'on construit un chemin à travers ces sortes de domaines ou aux environs. Dans ce cas, on n'a qu'à ouvrir une tranchée dans ces terreins, & l'on s'y pourvoira de tous les graviers nécessaires aux engravemens.

Les encombremens qui forment le gravier, tirent leur origine des montagnes adjacentes.

157. Nous avons vu dans la section précédente que les penchans des montagnes sont sillonnés de torrens; que ces torrens en détachent des masses composées de terre & de pierre, & qu'ils les jettent dans les rivières voisines. Ces rivières ayant des crues plus longues que celles des torrens (63), & d'ailleurs, étant habituellement alimentées par un certain volume d'eau (56), la partie terreuse sera bientôt dissoute; mais les pierres resteront & formeront l'encombrement dont nous avons parlé ci-dessus (154). Donc *les encombremens qui forment le gravier des rivières tirent leur origine des montagnes adjacentes.*

La quantité de gravier que la rivière

158. *La quantité de gravier que les rivières recevront par leurs*

affluens ſera, toutes choſes d'ailleurs égales, proportionnelle à la declivite des pays arroſés par ces affluens.

reçoit, eſt proportionnelle à l'étendue & à la déclivité des pays qui le fournit.

Car, 1°. puiſque les eaux des torrens détachent ces pierres des montagnes, elles en détacheront d'autant plus, qu'elles agiront ſur un plus grand nombre de points, ou que le pays arroſé ſera plus étendu.

2°. Ces pierres ſeront entraînées avec d'autant plus de facilité, que les montagnes ſeront plus ardues.

159. *La groſſeur des pierres que les torrens entraîneront dans les rivières, ſera d'autant plus conſiderable, que les montagnes ſeront plus ardues & plus proches de ces rivières.*

La groſſièreté du gravier eſt proportionnelle à la déclivité & à la proximité des montagnes.

1°. Plus les montagnes ſeront ardues, moins il faudra de force aux eaux des torrens pour détacher de groſſes maſſes de pierres.

2°. Plus ces montagnes ſeront proches des rivières, plus le trajet de tranſport ſera court: conſéquemment, moins les torrens perdront de leur force au bas de la montagne, & plus il leur en reſtera pour charrier ces matériaux.

160. De-là il ſuit 1°. que les *matériaux du lit d'une rivière ſeront plus ou moins groſſiers, ſélon que les montagnes qui la borderont, ſeront plus ou moins eſcarpées.*

Donc le gravier ſera plus ou moins groſſier, ſuivant la hauteur & la pente des montagnes.

La choſe eſt évidente, & d'ailleurs elle eſt confirmée par l'expérience.

2°. Que *lorſqu'il n'y aura point de montagnes, il n'y aura point de gravier.*

L'exemple de la Saône, de la Seine, de la Marne, &c., juſtifie cette conſéquence.

161. Nous avons vu (45 & 55) que les eaux de ſource ſortoient particulièrement des montagnes, & (51 1°.) qu'elles formoient les rivières dans leur état habituel. Par conſéquent les rivières prennent en général leur origine aux montagnes; mais (9) les montagnes diminuent conſtamment de hauteur en s'éloignant du point culminant du grouppe. D'autre part, la déclivité ou

La groſſièreté du gravier augmente ou diminue en s'approchant ou en s'éloignant de la ſource de la rivière.

la rapidité de leur penchant diminue auſſi à proportion de la hauteur. Donc, d'après ce que nous venons de dire (159), la groſſièreté des matières du fond d'une rivière augmentera en remontant vers la ſource, & elle diminuera en s'en éloignant.

La choſe eſt conforme aux obſervations, ainſi que chacun peut s'en convaincre.

Si les montagnes riveraines s'abaiſſent ou s'éloignent, la largeur du gravier augmentera.

Fig. 7.

162. *Si les montagnes formant la vallée s'éloignent ou s'abaiſſent, la longueur F G (fig. 7) de la ligne tranſverſale du gravier augmentera.*

Car, 1°. les montagnes s'éloignant, leurs penchans CGD, CFB s'écarteront l'un de l'autre: par conſéquent leur diſtance priſe ſur la ligne FG augmentera.

2°. Pareillement, ſi les montagnes ABC, CDE s'abaiſſent & ſi elles deviennent AB'C, CD'E, il eſt viſible que la ligne FG deviendra F'G' plus longue que la première.

Ainſi, dans le premier cas, les montagnes s'éloignant, & leur déclivité étant ſuppoſée conſtante, le ſommet de l'angle formé par la rencontre de leurs penchans, tombera au-deſſous du point C, tandis que la ligne FG ne change pas de poſition. Or le ſommet de l'angle s'éloignant, FG qui joint ſes côtés doit augmenter.

Dans le ſecond cas, au contraire, les ſommets des montagnes baiſſant, leur rapidité diminue; &, par conſéquent, l'angle formé au point C par le concours de leurs penchans, augmentera. Donc la ligne FG, qui ne varie pas dans ſa poſition & qui meſure la diſtance des côtés de cet angle, augmentera auſſi.

Si les montagnes riveraines ſe rapprochent ou s'élèvent, la largeur du gravier diminuera.

Fig 7.

163. *Si les montagnes qui forment la vallée ſe rapprochent ou s'élèvent, la longueur F G de la ligne tranſverſale diminuera.*

En effet, 1°. ſi elles s'approchent, leurs penchans CGD, CFB ſe rapprocheront auſſi; &, par conſéquent, la ligne FG, qui meſure leur diſtance ſuivant cette direction, diminuera.

2°. Si elles s'élèvent, & qu'elles deviennent AB"C, ED"C, leur

leur rapidité augmentera, leurs penchans se rapprocheront, & leur distance suivant la ligne FG, deviendra F''G'', qui sera évidemment moindre que FG.

La largeur des terreins à gagner est relative à la distance de la source.

164. Puisque la hauteur des montagnes augmente en s'approchant de la source d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant, il suit, de ce que nous venons de dire (162 & 163), qu'*il y aura plus ou moins de terrein à gagner sur le gravier du lit des rivières, selon qu'on s'éloignera ou qu'on s'approchera de leur origine.*

Considérations sur le gravier & les galets; usage qu'on en peut faire pour distinguer la rivière du torrent-rivière.

165. Les pierres qui tombent dans le lit des rivières sont d'abord d'une forme anguleuse & irrégulière, comme on peut le voir dans les torrens pris au bas des montagnes où ils se forment; l'action des eaux des rivières dans les crues, les oblige à rouler & à se choquer les unes les autres. Dans ce mouvement de rotation, & par ces divers chocs, les angles s'écornent, les surfaces se polissent, & leur forme devient régulière, ou à-peu-près. C'est lorsqu'elles sont parvenues à cet état, qu'elles prennent le nom de *galets*. Mais pour y parvenir, elles ont besoin de rouler sur une certaine étendue, & par l'action des crues d'une certaine longueur. Avant ce terme, elles sont plus ou moins écornées, & s'approchent plus ou moins de la régularité des *galets*, suivant l'espace parcouru, & c'est sur-tout dans le lit des torrens-rivières qu'on les trouve dans cet état d'imperfection : aussi est-ce-là le vrai moyen de distinguer au premier abord, & en tout tems, le torrent-rivière de la rivière proprement dite.

Comme les pierres qui descendent des montagnes sont de diverses grosseurs, cette diversité continue dans le lit des rivières. Ainsi, le gravier n'est qu'un mélange de pierres de toute grosseur, depuis un volume déterminé & au-dessous; & sa grossièreté, en général, consiste dans le plus ou moins de grosseur des galets qui y dominent.

Origine des dépôts de gravier supérieurs au lit des rivières.

166. Nous avons dit (5) qu'en divers endroits, & à une certaine hauteur on trouve des amas considérables de cailloux roulés ou *galets*. Nous ajouterons ici qu'on rencontre aussi fort souvent, dans les endroits élevés, du gravier dont les pierres ne sont encore qu'imparfaitement arrondies. Par conséquent, en examinant les rivières ou torrens-rivières qui sont dans la contrée, on pourra, d'après ce que nous avons dit (165), déterminer par quel courant ces dépôts ont été formés.

Pourquoi le lit des rivières s'abaisse, malgré les graviers affluens.

167. Les torrens transportant continuellement des pierres dans le lit des rivières, & ces pierres ne parvenant pas jusqu'à la mer, ainsi que nous le verrons plus bas, il semble que ce lit devroit habituellement s'exhausser. Cependant il arrive le contraire, comme nous l'avons dit (5 & 166). Deux causes empêchent les progrès de cet exhaussement.

La première est le frottement continuel des galets, les uns contre les autres, dans les crues; frottement qui les use & en atténue habituellement les parties. La chose paroîtra peu surprenante, si l'on observe qu'il est bien difficile qu'une des plus grosses pierres qu'on trouve dans le gravier du lit des rivières puisse, par l'effet d'un mouvement violent, tel qu'est celui du tems des crues, rouler seulement l'espace de 10 lieues sans s'anéantir entièrement.

La seconde est l'abaissement habituel du niveau de la mer dont nous avons parlé aux n. 4 & 5, & qui, comme on verra dans la suite, influe nécessairement sur l'abaissement du lit des rivières dans toute l'étendue de leur cours.

Ainsi, par le concours de ces deux causes, *non seulement le lit des rivières ne doit pas s'élever, mais au contraire il doit continuellement s'abaisser; & c'est ce qui est confirmé par l'expérience.*

168. Après avoir expliqué tout ce qui tient à la formation & à la nature du lit des rivières, il nous reste à voir l'action des eaux sur les matières qui le composent & les variations qui en

résultent dans toutes les hypothèses. Pour cela il faut préalablement fixer nos idées sur la force des eaux, la résistance des matériaux du fond & l'équilibre qui s'établit entre cette force & cette résistance.

La force d'équilibre des courans est exprimée par le volume d'équilibre multiplié par la vitesse moyenne.

169. Nous avons dit (48) que, dans les crues, toutes les matières du fond étoient en mouvement, & (85) que ces mêmes matières ne se mettoient en équilibre, avec l'action du courant, que pendant l'écoulement secondaire des eaux pluviales auxquelles nous avons donné le nom de *volume d'eau d'équilibre*. D'après la définition donnée au n. 89 2°., ce volume est le volume moyen des eaux d'écoulement secondaire qui succèdent à la crue. L'action de ce volume ou sa force se mesure, ainsi que la force de tous les corps, par le produit de la masse, par la vîtesse qui l'anime. Or nous avons vu (100) l'impossibilité de fixer la loi du mouvement des eaux des torrens & des rivières, & (101) que la vîtesse moyenne remplissoit le même objet : ce sera donc la vîtesse moyenne que nous adopterons pour la vîtesse commune à toutes les particules de la masse. Quant à cette masse, elle est le volume qui, dans une seconde, que nous prenons pour unité de tems, passe par la section du lit à l'endroit sur lequel nous raisonnerons, & ce volume doit être regardé comme évalué en pieds cubes, à cause que nous prenons le pied pour unité. En conséquence, la *force d'équilibre du courant sera exprimée par le volume d'eau d'équilibre multiplié par la vîtesse moyenne.*

Au surplus, nous ne devons pas nous dissimuler que cette force n'agit en entier que sur les grands obstacles qui se rencontrent sur sa route, tels que les digues, les bords du lit quand ils se présentent obliquement à la direction du courant, &c. ; au lieu qu'il n'y a que les couches inférieures qui agissent sur les matériaux qui forment les inégalités du fond. Cependant, comme ces couches supportent le poids de toutes les couches supérieures, n'étant d'ailleurs question ici que de fixer des

rapports d'approximation, & de les vérifier conſtamment par l'expérience, nous croyons pouvoir, ſans crainte d'erreur ſenſible, prendre l'expreſſion de la force que nous venons de fixer, pour celle qui agit ſur les matières du fond & à laquelle elle doit être ſenſiblement proportionnelle, la vîteſſe étant ſuppoſée la même pour tous les filets.

Cette force eſt auſſi repréſentée par le même volume multiplié par une fonction quelconque de la pente.

170. Par la théorie de la chûte des corps, ſoit libre, ſoit ſur des plans inclinés, la vîteſſe acquiſe eſt exprimée par l'ordonnée d'une parabole dont le paramètre = 60 pieds & l'abciſſe eſt la hauteur due. D'où il ſuit que, dans la théorie, les vîteſſes ſont comme les racines quarrées des hauteurs. Dans les rivières, l'eau coule à la vérité ſur un plan incliné; mais nous avons vu (101) qu'on ne pouvoit pas, à la rigueur, lui appliquer ce rapport de la vîteſſe à la hauteur. Tout ce que nous pouvons dire, c'eſt que la hauteur du plan incliné, ou la pente de la rivière augmentant ou diminuant, la vîteſſe augmentera ou diminuera auſſi d'après une fonction quelconque de cette pente, mais dont la détermination, aſſez inutile d'ailleurs pour l'objet que nous propoſons, ſera probablement encore long-tems inconnue par la multiplicité & les variations à l'infini des élémens qui y entrent. En conſéquence, ne deſirant & ne pouvant aujourd'hui obtenir que des rapports approximatifs, nous pourrons auſſi repréſenter la force du courant qui agit ſur le fond ou *la force d'équilibre, par le volume d'eau d'équilibre, multiplié par une fonction quelconque de la pente.*

La réſiſtance des matières du fond eſt proportionnelle à leur groſſièreté. Fig. 8.

171. Soit AB (fig. 8.) un plan incliné faiſant partie d'une portion du lit d'une rivière. Soit auſſi, ſur ce plan, le corps D repréſentant une pierre iſolée, poſée parmi celles qui compoſent le fond. Cette pierre, étant entièrement plongée dans l'eau, perdra autant de ſon poids que pèſe le volume d'eau dont elle occupe la place. Repréſentons le reſte de ſon poids par la verticale FF, & abaiſſons la perpendiculaire EG. Cette dernière ligne exprimera ſa preſſion ſur le plan & ſera proportion-

nelle à l'énergie avec laquelle elle résistera à l'action du courant. Mais on a EF : EG :: AB : BC. Donc, puisqu'à cause de la petitesse de AC on peut, sans erreur sensible, supposer BC=AB, on pourra aussi, par la même raison, supposer EG=EF; par conséquent la résistance, que ce corps opposera, sera proportionnelle à son poids relatif; &, puisque le poids relatif est proportionnel au poids absolu, & celui-ci au volume ou à la grosseur des matières, *la résistance de ce corps sera aussi en proportion avec son volume ou sa grosseur.*

Jusqu'ici nous n'avons considéré qu'un corps isolé, placé sur le fond du lit d'une rivière; mais dans la nature, les choses ne sont pas ainsi : les pierres couvrent le fond en entier : elles sont placées les unes à la suite des autres; & quoique disposées au hasard & en désordre, cependant elles se soutiennent mutuellement jusqu'à un certain point. Par cette irrégularité de disposition respective, il seroit difficile, pour ne pas dire impossible, de fixer au juste le rapport de la résultante des résistances. Mais on sent, qu'en général, dans ce cas, *cette résistance doit à-peu-près être encore proportionnelle à la grossièreté des matières;* car il est visible que plus ces matériaux seront volumineux, plus ils résisteront.

172. *Pour que le lit d'une rivière prenne une consistance, il faut que les matières du fond se mettent en équilibre avec l'action des eaux.*

Les matières du fond doivent se mettre en équilibre avec l'action des eaux.

Car si cet équilibre n'avoit pas lieu, les matières du fond seroient dans un mouvement continuel, & le lit ne prendroit aucune consistance fixe; ce qui est contraire aux loix de la nature & à l'expérience.

173. Donc, puisque l'action ou la force des eaux est (169) comme le produit de la masse par la vîtesse, ou (170) comme le produit de cette masse par une fonction de la pente, & que (171) la résistance des matières du fond est comme leur grossièreté, toutes ces quantités seront en proportion.

Conséquence qui en résulte.

C'eſt de-là que nous allons déduire les propoſitions ſuivantes.

La groſſièreté des matières du fond augmente avec la force de la rivière.

174. *Plus la force de la rivière ſera conſidérable, plus les matières du fond ſeront groſſières.* Car, ſi la force de la rivière augmente, la réſiſtance des matières qui, par leur poids, doivent lui faire équilibre, augmentera auſſi. Or (171), cette réſiſtance eſt proportionnelle à la groſſeur des matières : donc la force de la rivière ſera proportionnelle à la groſſièreté de ces mêmes matières.

Et réciproquement.

175. Il s'en ſuit de-là, que réciproquement *plus les matières ſeront groſſières, plus le courant pris dans l'état d'équilibre aura de force.*

La choſe eſt évidente, puiſqu'une plus grande réſiſtance doit faire équilibre à une plus grande force.

On ſent que l'inverſe de l'une & l'autre propoſition a également lieu.

Ces deux propoſitions ſont confirmées par l'expérience ; car par-tout où les rivières ont plus de force, les matières du gravier y ſont plus groſſières, & réciproquement.

Le volume d'eau étant conſtant, la pente augmentera ou diminuera avec la groſſièreté des matières du fond.

176. *Si le volume d'eau eſt conſtant ſur tout le cours du courant, la pente augmentera ou diminuera avec l'augmentation ou la diminution de la groſſièreté des matières du fond.*

En effet, 1°. ſi la groſſièreté des matières augmente, leur énergie ou réſiſtance augmentera (171). Donc, dans le cas d'équilibre la force du courant doit augmenter (175) ; mais cette force eſt le produit de la maſſe par la vîteſſe (169). La maſſe étant conſtante par hypothèſe, la vîteſſe doit donc s'accroître. Or (170), cette vîteſſe ne peut s'accroître qu'à meſure que la pente augmentera : donc cette pente augmentera avec la groſſièreté des matières du fond.

2°. Par les mêmes raiſons, ſi cette groſſièreté diminue, la réſiſtance diminuera. Il en ſera de même de la force & de la vîteſſe du courant ; par conſéquent la pente diminuera auſſi.

177. *Si la grossièreté des matières est uniforme sur toute la longueur du lit, la pente augmentera ou diminuera lorsque le volume d'eau diminuera ou augmentera respectivement.*

La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente suivra la raison inverse du volume d'eau.

Car 1°. le volume d'eau diminuant, & la résistance étant constante par l'uniformité des matières du fond, la force devant aussi être constante, la vîtesse augmentera. Or, elle ne peut s'accroître qu'avec la pente (170).

2°. Au contraire, le volume d'eau augmentant & la résistance étant supposée constante, la force qui pour lors doit aussi être constante, exige que la vîtesse diminue : donc, dans ce cas, la pente diminuera aussi (170).

178. Nous avons vu (161) que la grossièreté des matières du fond augmente en remontant vers la source d'une rivière, & qu'elle diminue en s'en éloignant ou en descendant : d'autre part, nous avons pareillement vu (60) que le volume d'eau d'une rivière augmente ou diminue en s'éloignant ou en s'approchant de sa source. Donc, d'après les deux propositions ci-dessus (176 & 177), la pente du lit d'une rivière augmentera continuellement en remontant vers sa source, & elle diminuera de même en descendant. Par conséquent, *ce lit ne formera pas une seule ligne droite, mais une suite de plans dont l'inclinaison variera à chaque pas, & qui seront les élémens d'une courbe dont le point générateur s'élèvera continuellement en avançant vers la source de la rivière ;* ce qui est parfaitement conforme aux observations.

Le fond du lit formera une courbe qui s'élèvera en avançant vers la source.

179. Si l'on examine la nature de cette courbe, on voit qu'elle doit être de la classe des courbes assymptotiques; car, menons l'horisontale AB (fig. 9) dans laquelle le point A soit du côté d'aval & la pointe B du côté d'amont, & élevons les perpendiculaires PM, P'M', P"M" &c., elles seront (178) les ordonnées de cette courbe qui touchera l'axe des abcisses AB lorsque PM ou la pente sera $=0$. Or pour que, toutes choses d'ailleurs égales, la pente s'anéantisse, il faut que la résistance

La courbe du lit sera assymptotique.

du fond soit nulle, ou que le volume d'eau soit infini. En effet la pente s'anéantissant, la vîtesse qu'elle imprime à la masse s'anéantit aussi, ou, si l'on veut, devient infiniment petite; donc il faut que la résistance du fond devienne nulle, ou, si elle est finie, il faut que la masse d'eau devienne infinie. Or la résistance du fond ne sera jamais $= 0$, ni la masse ou le volume d'eau $= \infty$; donc PM aura toujours une valeur, & par conséquent *la courbe MM'M" sera assymptotique, puisqu'elle ne pourra toucher l'axe AB des abcisses qu'à l'infini.*

Le volume d'eau étant constant, la grossièreté des matières du fond augmentera avec la pente.

180. *Si la pente d'une rivière augmente & que le volume de ses eaux soit constant, la grossièreté des matieres du fond augmentera aussi.*

La raison s'en présente d'elle-même. La pente augmentant, la vîtesse & la force de la rivière augmenteront aussi (170); donc, pour l'équilibre, la résistance du fond doit augmenter: mais cette résistance ne peut s'accroître que par l'augmentation de la grossièreté des matières (171).

Application de ce principe au redressement du lit des rivières.

181. Supposons qu'on redresse le lit sinueux d'une rivière, en abrégeant son cours, on augmentera sa pente en cet endroit. Donc, par la proposition précédente, la grossièreté des matières du fond augmentera pareillement de proche en proche jusqu'à la distance où, par l'effet de l'augmentation de résistance qui en résultera, ou de celle mentionnée au n. 103, le courant se sera mis de nouveau en équilibre avec les matières primitives.

L'observation suivante confirmera cette assertion. Frizi rapporte qu'en abrégeant le cours de l'Arno de quatre milles, cette rivière a poussé du gravier jusqu'à trois milles au-delà du point où elle cessoit d'en charier auparavant: d'où l'on doit conclure *qu'en opérant des redressemens dans les rivières, on portera, en général, la grossièreté des matériaux qui se trouvent à un endroit déterminé, à une distance plus avancée en aval d'environ les trois quarts de la longueur du racourcissement du cours de ces rivières.*

182,

182. Puifqu'un redreffement de lit augmente la pente, & que (105 2°.) les courans tendent toujours à s'établir aux endroits où cette pente eft plus forte; il s'en fuit que fi une rivière rencontre fur fon cours un endroit pareil, elle s'y précipitera d'elle-même. C'eft pour cette raifon, qu'en 1711, le Rhône, près de fon embouchure, abandonna fon ancien lit, connu fous le nom du *canal de bras de fer*, pour fe jetter dans celui des Lônes qu'il occupe encore aujourd'hui. Par conféquent quand on a de pareils redreffemens ou racourciffemens à faire, lorfqu'il n'y a pas de rocher ni d'autres matières qui ayent trop de tenacité, il fuffit, le plus fouvent, d'ouvrir une fimple tranchée de peu de largeur, & de laiffer, au courant qui s'y précipitera de lui-même, le foin de s'aggrandir convenablement par la corrofion qu'il ne manquera pas d'exercer fur les bords; ce qui facilitera infiniment ces fortes d'opérations & en diminuera confidérablement les dépenfes.

Moyen de fimplifier les frais de redreffement du lit des rivières.

183. *Le volume d'eau d'une rivière étant toujours fuppofé conftant, fi l'on en diminue la pente, la groffièreté des matières du fond diminuera auffi.*

Le volume d'eau étant conftant, la groffièreté des matières du fond diminuera avec la pente.

Car la pente diminuant, la vîteffe diminuera auffi (170), de même que la force (169). Donc cette force ne pourra plus faire équilibre qu'à une réfiftance moindre qu'auparavant : or, cette réfiftance (171) eft comme la groffièreté des matières du fond: donc cette groffièreté diminuera.

184. Cette propofition s'applique naturellement aux déverfoirs dont on fe fert pour barrer le lit des rivières. Ces fortes d'ouvrages, en détruifant la pente de la rivière, détruifent auffi fa vîteffe & fa force : le courant n'a donc plus affez d'énergie pour charier du gravier; & les eaux ne s'écoulant que par l'effet de la preffion verticale, la groffièreté des matières du fond s'anéantit jufqu'à une certaine diftance en amont du déverfoir : c'eft ce que l'expérience démontre.

Application de ce principe aux déverfoirs.

Un déversoir oblige le lit de s'exhausser en amont.
Fig. 10.

185. *Si l'on barre une rivière par un déversoir, son lit s'exhaussera en amont de ce déversoir.*

Soient AB (*fig.* 10.) une portion du lit sur laquelle on a construit le déversoir CDEF. Du sommet de ce déversoir menons l'horisontale CG qui rencontre AB en G. Le courant arrivé en G sera obligé de se mouvoir de G en C, en vertu de sa vîtesse acquise. Mais, d'une part, pour peu de hauteur qu'ait le déversoir, cette vîtesse est bientôt détruite par la résistance qu'oppose la masse stagnante CFG, que le courant choque suivant sa direction AG (105 1°.); & de l'autre, ce rallentissement retardant les eaux antérieures, se fait sentir de proche en proche, aux eaux postérieures ou du côté d'amont, jusqu'à une certaine distance d'autant plus grande que la pente est plus petite. Donc les eaux affluentes en amont de G ayant moins de vîtesse & conséquemment moins de force qu'auparavant, n'auront plus assez d'intensité pour charier les matières que les torrens supérieurs ne cessent de transporter dans son lit. Donc le lit s'exhaussera en amont du déversoir.

La même proposition peut être démontrée d'une manière encore plus simple. La destruction de la vîtesse retient (184) toutes les matières grossières en amont du déversoir. Or les torrens qui affluent en amont ne cessent d'en charier; donc ces matières, ne passant plus au-delà du déversoir, s'accumuleront en amont, & par conséquent elles y exhausseront le lit.

Cette vérité est démontrée par l'expérience : par-tout où l'on barre une rivière pour procurer de l'eau ou des chûtes à des moulins ou à d'autres engins, on remarque constamment cet exhaussement.

La grossièreté des matières du fond sera à son *minimum* près du déversoir.

186. La destruction de la vîtesse & de la force du courant est à son *maximum* près du déversoir: mais comme elle n'est produite que par la réaction des eaux stagnantes CFG, cette destruction diminuant par degré en remontant, ainsi que nous venons de le dire, la force augmentera en remontant jusqu'à ce

qu'elle ſoit devenue la même que ſi le déverſoir n'exiſtoit pas. Donc (174) *la groſſièreté des matières ſera à ſon MINIMUM près du déverſoir, & elle augmentera progreſſivement en remontant.*

Chaque déverſoir produit au fond du lit une courbe aſſymptotique.

187. En appliquant au lit d'une rivière, coupé par divers déverſoirs, ce que nous avons dit (179), on verra que le fond formera diverſes lignes aſſymptotiques, interrompues par ces mêmes déverſoirs auxquels répondront reſpectivement les moindres ordonnées; car la loi des vîteſſes & des forces du courant, ſoit en amont & en aval des deux déverſoirs extrêmes, ſoit dans les entre deux, ſe trouvant la même que s'il n'en exiſtoit aucun, la courbe du fond doit être rangée dans la même claſſe.

Combien l'uſage des déverſoirs eſt pernicieux.

188. L'uſage des déverſoirs eſt très-pernicieux dans une infinité de cas; car, outre qu'ils gênent & ſouvent même qu'ils interrompent la navigation ou la flottaiſon, ſi les domaines adjacens ont peu de hauteur, ils forcent les eaux des crues à les inonder; de-là réſulte non ſeulement la perte des récoltes, mais encore l'origine des marais qui privent la ſociété de terreins précieux & qui nuiſent à la ſanté des habitans par l'inſalubrité dont ils infectent l'air environnant; de ſimples canaux de dérivation, dont la priſe d'eau ſeroit un peu au-deſſus de l'extrémité G des eaux rendues ſtagnantes par le déverſoir, produiroient la même chûte, ſeroient ſouvent d'une conſtruction & d'un entretien qui exigeroient moins de frais & n'auroient aucun des inconveniens de ces ſortes d'ouvrages de barrage.

Effets réſultans de la démolition d'un déverſoir.

189. *Si l'on détruit un déverſoir, on augmentera d'autant la pente de la rivière, & alors il en réſultera l'effet mentionné au n.* 181. La choſe eſt évidente & n'a pas beſoin de demonſtration.

Ce qu'il y auroit de plus eſſentiel eſt que la démolition des déverſoirs anéantiroit tous les effets déſaſtreux qu'ils produiſent, & dont nous venons de parler au n. précédent.

La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente diminuera lorsque le volume d'eau augmentera.

190. *Lorsque le volume d'eau augmente, & que la grossièreté des matières est constante, la pente diminue.*

Car puisque la grossièreté des matières du fond est constante, leur résistance doit l'être aussi. Donc il doit en être de même de la force de la rivière dans l'équilibre. Par conséquent, puisque la masse a augmenté, il faut que la vîtesse diminue à proportion. Donc (170) la pente doit pareillement diminuer.

Donc en aval d'un confluent la pente de la rivière principale diminuera.

191. *Il suit de-là qu'en aval du confluent des deux rivières, la pente de la rivière principale doit être moindre qu'en amont.* C'est une conséquence, non seulement de la proposition du n. 190, mais encore du n. 177; & elle est trop claire pour y insister, d'autant mieux qu'à chaque pas l'expérience le prouve.

Les rétrécissemens du lit en diminuent la pente.

192. *Si par quelque cause que ce soit le lit d'une rivière se rétrécit en un endroit déterminé, la pente diminuera en aval.*

Car dans ce cas, toute la rivière se trouvant réduite sur un moindre espace, doit éprouver les mêmes symptômes que si elle recevoit un plus grand volume d'eau.

Si la grossièreté des matières du fond est constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

193. *Si la grossièreté du gravier est constante, & que le volume d'eau diminue, la pente augmentera.*

Car la résistance est constante, & la force est moindre par la diminution de la masse. Donc il faut, pour l'équilibre, que cette force se rétablisse par l'augmentation de vîtesse: or (170), la vîtesse ne peut augmenter que par la pente; donc la pente augmentera.

Conséquences qui en résultent.

194. Donc, 1°. *si l'on saigne une rivière, la pente en aval doit augmenter.* Car alors le volume d'eau diminuera, & par le n. précédent la vîtesse doit augmenter ainsi que la pente.

2°. *Si dans ce même cas la pente reste constante, la vîtesse doit diminuer.* Car alors les obstacles l'emportant sur la force, agissent avec plus d'énergie. Cela est confirmé par l'expérience des canaux dans lesquels la vîtesse diminue à mesure qu'on en dérive les eaux en plus ou moins grande quantité.

3°. *Si une rivière eſt trop large, ſa pente augmentera.* Cela eſt évident, puiſqu'alors chaque partie de la largeur aura moins d'eau que ſi le lit étoit plus réduit. Or, dans ce cas la rivière devient la même que ſi ſon volume d'eau avoit diminué.

4°. *Une rivière trop large exhauſſera ſon lit.* Car l'augmentation de pente ne peut avoir lieu que par l'exhauſſement. D'ailleurs, pour bien ſe convaincre de cette vérité, qui eſt eſſentielle, on n'a qu'à faire attention que dans une rivière trop large, la force diminuant, le courant ne peut plus entraîner les matériaux qu'il entraînoit auparavant : ces matériaux, en ſe dépoſant, doivent donc exhauſſer le lit.

§. II.

De l'action des eaux ſur le fond en gravier ; de la corroſion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

Les eaux ſuperficielles éprouvent une accélération.

195. Juſqu'ici nous n'avons conſidéré qu'en général la pente qui réſultoit de l'équilibre entre l'action des eaux & la réſiſtance du fond ; & c'eſt d'après cela que nous avons conclu (179) que la forme du lit d'une rivière ſuivroit la loi d'une courbe aſſymptotique. Cette réſiſtance de la groſſièreté des matières du fond, eſt un des moyens dont la nature s'eſt ſervie pour modérer, à chaque pas, l'effet de l'accélération : mais outre ce moyen, elle en emploie un autre incomparablement plus efficace, & auquel il paroît que juſqu'à préſent on n'a pas fait aſſez d'attention.

En effet, ſi l'on ſuppoſe l'équilibre exact entre l'action des eaux du volume d'équilibre & la réſiſtance du fond, il eſt viſible que le moindre accroiſſement d'action qui réſultera d'une légère augmentation de vîteſſe, détruira cet équilibre & bouleverſera le fond. Or, c'eſt ce qui arriveroit habituellement ; car les eaux de la ſuperficie ſe reſſentent peu, en général, de la réſiſtance du fond, ſur-tout pour peu de profondeur qu'ait la rivière. Dans ce

cas, ces eaux s'accélérant, procureront, par leur adhésion & leur viscosité naturelles, aux eaux inférieures, une augmentation de vîtesse & de force qui, l'emportant sur la résistance des matières du fond, détruira l'équilibre précédemment établi, & mettra tout en mouvenment par un déplacement général. Suivons donc les progrès de cette accélération, & voyons de quelle manière la nature la détruit.

L'équilibre exige des gouffres. Fig. 11.

196. Soit AB (fig. 11) un des plans inclinés qui forment les élémens de la courbe générale assymprotique du lit (179). Supposons qu'au point A il y ait équilibre entre l'action des eaux & de la résistance du fond composé, ainsi qu'il a été dit (165), de galets de toutes sortes de grosseur au-dessous d'un volume déterminé. Divisons la ligne AB en petites parties telles que AD, DE, EF, FG, GH, &c., les eaux superficielles, en s'accélérant librement, procureront (195) à la masse, une augmentation de force d'un degré en D, de deux en E, de trois en F, de quatre en G, de cinq en H, &c. Par conséquent cette force, en s'accroissant, enlèvera en E les matières les plus légères, en F des matières un peu plus pesantes que les précédentes, & ainsi de suite. Or on sent qu'à la suite de cette accélération la force du courant deviendra assez grande pour, qu'à un point quelconque H, non seulement il ne reste plus au fond que les plus gros galets, mais encore que ces mêmes galets ne puissent pas lui résister & qu'ils soient eux-mêmes entraînés. Alors la rivière est dans le même cas qu'un torrent qui descend d'une montagne & auquel les matières du fond ne peuvent point résister, & par conséquent (110) la ligne du fond KL s'approchera toujours plus de la verticale, ou s'éloignera toujours davantage de la direction de AB; mais le courant ne peut pas continuer sa route suivant la direction de KL dont le prolongement entre dans le globe comme sécante, & il faut de nécessité qu'il revienne à la surface de la terre sur la ligne AB; il ne peut pas y arriver par l'horisontale LN, puisqu'à raison de la grande obli-

quité de KL, la destruction de force, par la résistance de LN, seroit très-petite, & que les matières qui y seroient répandues ne pourroient pas lui résister : encore moins pour cette même raison n'y peut-il pas parvenir par la ligne inclinée LP. Donc il ne peut revenir sur AB que par la ligne en contrepente LM qui détruira sa vîtesse de manière qu'en M elle sera la même, ou à peu près, qu'en A. Au point M la même accélération qui a déjà eu lieu en A agira sur la partie MQ de la même manière qu'elle a agi sur AK, & ainsi de suite. Or puisque LM est en contre-pente, le point L est plus bas que le point M. Donc KLM forme un gouffre. Donc *l'équilibre dans les rivières exige que par intervalles il se creuse des gouffres qui détruisent la plus grande partie de la vîtesse acquise par l'accélération des eaux de la superficie.*

197. Cette proposition est amplement prouvée par l'expérience. Qu'on parcoure toutes les rivières qui charient du gravier, par-tout on observera ces gouffres creusés de distance en distance, avec diverses modifications, à la vérité, mais qui tiennent aux localités & qui n'altèrent en aucune manière le principe. Jamais au contraire on ne rencontrera de lit dont le fond forme un plan incliné ou une courbe sans interruption. La chose est sur-tout sensible dans les branches des rivières qui restent à sec après une crue. On y voit ces gouffres remplis d'eau; ce qui prouve leur contrepente : car sans cette raison il est visible que cette eau stagnante se seroit écoulée.

Preuve tirée de l'expérience.

198. *La profondeur des gouffres est plus ou moins grande suivant la profondeur d'eau & la pente des rivières*

La profondeur des gouffres dépend de celle du courant & du degré de pente.
Fig. 11.

1°. L'accélération sera d'autant plus forte que la profondeur & la pente de la rivière seront plus considérables. (195) Donc la force étant alors plus grande, KL s'écartera davantage de la ligne AB, & (110) s'approchera davantage de la verticale KR.

2°. Puisque (196) la ligne de contre-pente LM détruit la force d'accélération, elle doit être assez longue pour recevoir le choc de tous les filets qui coulent sur KL depuis le fond

jusqu'à la superficie de l'eau ; la longueur sera donc, toutes choses d'ailleurs égales, proportionnelle à la profondeur des eaux.

Cela posé, il est visible que dans le triangle KLM le point L s'éloignera d'autant plus de KM que ML s'allongera davantage, par le rapprochement de KL, de la verticale KR. Donc la profondeur des gouffres suivra la loi ci-dessus; ce qui est conforme à l'expérience; car dans les petites rivières les gouffres n'y sont pas aussi profonds que dans les grandes, toutes choses d'ailleurs égales.

La distance des gouffres suit la raison inverse de la pente. Fig. 11.

199. *La distance d'un gouffre à l'autre sera, toutes choses égales, d'autant plus petite ou plus grande, que la pente sera plus ou moins considérable.*

1°. Plus la pente sera grande, plus l'accélération des eaux de la superficie sera rapide. Donc plus AK sera petite.

2°. Au contraire moins la pente sera grande, plus l'accélération des eaux superficielles sera petite, & conséquemment plus AK sera considérable.

Tout cela est conforme à l'expérience.

Variations de la grossièreté des matières d'un gouffre à l'autre. Fig. 11.

200. De la proposition du n. 196 il suit que *la grossiereté des matériaux du fond doit augmenter progressivement en avançant du gouffre d'amont vers le gouffre d'aval.*

Car nous avons vu que le courant enlevoit continuellement les matières les moins pesantes sur les espaces AD, DE, EF, &c. jusqu'à ce qu'il ne reste plus que les matières les plus grossières.

Variation de la vitesse des rivières d'un gouffre à l'autre.

201. La vitesse du courant s'accélère depuis A jusqu'à L, ainsi que nous l'avons vu (196), & elle se détruit sur LM. Donc la vitesse des rivières n'est point uniforme; elle varie continuellement depuis la sortie d'un gouffre jusqu'à la sortie de l'autre. *La plus grande vitesse est donc à l'entrée d'un gouffre, & la moindre est à sa sortie.*

202.

202. Il suit de-là que *les gués des rivières doivent se trouver à la sortie d'un gouffre*; car les endroits guéables sont ceux où la vîtesse du courant est la moindre possible. Or, cela arrive particulièrement au sortir des gouffres, quoique souvent la profondeur y soit assez considérable. Au surplus, les localités en offrent souvent d'autres, où les eaux s'étendant sur une superficie considérable, perdent une grande partie de leur vîtesse.

En quels endroits les rivières sont guéables.

203. La vîtesse d'une rivière variant continuellement, si l'on se sert des corps flottans pour la mesurer, on ne pourra avoir que la vîtesse moyenne des eaux de la surface sur l'espace parcouru par ces corps. Si l'on emploie le quart de cercle, on sent combien il seroit souvent embarrassant pour l'établir. Par conséquent, de toutes les machines proposées par les auteurs, nous ne voyons guères que le tube de Pitot, dont on puisse commodément faire usage pour cet objet : il satisfait à tout, & il est très-aisé à manier dans le courant : ce n'est pas néanmoins qu'il n'ait quelques inconvéniens; mais quel est l'instrument de ce genre qui n'en a pas ? D'ailleurs, ils sont si peu de chose, que ce n'est pas la peine de s'y arrêter, sur-tout sur un objet de cette nature.

Instrumens pour mesurer la vîtesse des eaux.

204. La construction & l'usage de la machine de Pitot sont décrits fort au long dans les mémoires de l'Académie des sciences de l'année 1732. Le principe qui lui sert de base est que la vîtesse de l'eau doit être regardée comme celle acquise par la chûte d'un corps le long d'un plan incliné, & que d'après la théorie des graves, l'eau animée de cette vîtesse doit remonter à la hauteur d'où elle auroit dû tomber pour l'acquérir.

Description & usage de la machine de Pitot.

Pour rendre cette machine plus usuelle, nous en conserverons le fond; mais nous y ferons quelques changemens qui la rendront plus simple & plus commode.

AHGLKB (*fig.* 12) est un prisme triangulaire droit à faces égales d'environ 6 pouces de largeur & d'une hauteur qui excède

d'environ un pied la profondeur des eaux de la rivière sur laquelle on doit l'employer. Il sera percé suivant son axe d'un trou cylindrique d'environ deux pouces & demi de diamètre, pour recevoir la pièce cylindrique CD de même calibre, deux fois plus longue que le prisme & armée à son extrêmité inférieure d'un sabot en fer DE par le moyen duquel on puisse l'arrêter solidement au fond de la rivière dans l'endroit où l'on voudra opérer. Sur une de ses faces latérales, le prisme portera trois vis F, à l'aide desquelles on l'arrêtera le long du cylindre CD à la hauteur qu'on voudra.

Sur la face GHKL on pratiquera deux rainures égales paralèlles entr'elles & aux arêtes du prisme. Elles seront destinées à recevoir & à loger les deux tubes de verre MN, PQ. Ces tubes seront à quelques pouces près de même longueur que l'arête HK du prisme. PQ sera droit & couvert par les deux bouts; mais l'extrêmité inférieure de MN sera courbée en quart de cercle & évasée en entonnoir NRS.

Ces deux tubes auront environ un pouce de diamètre intérieur: ils seront enchassés & solidement arrêtés dans les deux rainures ci-dessus, de façon que l'extrêmité Q & le centre de l'ouverture RS de l'entonnoir soient sur la même ligne de niveau & que le plan qui passe par l'axe, tant du tube MN que de la partie évasée NRS soit perpendiculaire à la face GHKL du prisme.

Cette même face, à partir de la ligne de niveau qui passera par l'extrêmité inférieure du tube PQ, sera divisée sur sa hauteur, en pieds, pouces & lignes.

Tel est à-peu-près l'instrument de Pitot. En voici l'usage.

Quand on voudra mesurer la vîtesse des eaux d'une rivière à un endroit déterminé, on fera placer la pièce CD en cet endroit, & on l'arrêtera au fond par le moyen du sabot DE. On aura soin que celui qui la soutiendra, la tienne à plomb. On fera descendre le prisme jusqu'à ce que l'extrêmité Q

du tube droit soit à la profondeur à laquelle on veut opérer, & alors on la fixera au cylindre CD par le moyen des vis F : ensuite, on dirigera l'instrument de manière que la face GHKL se présente perpendiculairement à la direction du courant, & que l'eau entre directement dans l'entonnoir NRS du tube MN.

Tout étant ainsi disposé, il est visible 1°. que l'eau se mettra de niveau dans le tube droit PQ avec celle du courant; 2°. que s'engouffrant dans l'entonnoir NRS, elle remontera au-dessus de son niveau dans le tube MN; 3°. que cet excès d'élévation sera la hauteur due à la vîtesse dont il est l'effet. On prendra donc cette différence de hauteur sur les divisions de l'instrument, & on aura la hauteur due à la vîtesse des eaux en cet endroit.

Nommons v la vîtesse acquise par la chûte d'un corps, & h la hauteur de la chûte. Par la théorie de la descente des corps pesans (101); on a $v=\sqrt{60h}$; c'est-à-dire, que la vîtesse acquise par la chûte, le long de la hauteur h, ou l'espace parcouru d'un mouvement uniforme, dans une seconde, & évalué en pieds, se trouve, par la racine quarrée de la hauteur, aussi évaluée en pieds, & prise soixante fois.

Supposons donc qu'on trouve, sur les divisions de l'instrument, cet excès de hauteur d'eau dans les deux tubes $=3$ pouces $=\frac{1}{4}$ pied, on aura la vîtesse $v=\sqrt{60\frac{1}{4}}=\sqrt{15}=4$ pieds, à très-peu de chose près.

Du reste, nous le répétons, cet instrument peut être perfectionné; mais en attendant mieux, on peut s'en servir ainsi que nous venons de le dire.

205. La pente des rivières n'est pas plus uniforme que la vîtesse : elle est, comme on a vu (196), par ressauts. Cependant il y a une pente générale qui se rapporte constamment à la ligne AB (*fig.* 11), & c'est celle qu'on doit prendre pour la

Comment on doit prendre la pente d'une rivière. Fig. 11.

pente de la rivière, dans une partie déterminée de ſon cours. Pour l'avoir exactement, on doit prendre pour les termes extrêmes du nivellement qu'on fera à cet effet, la ſuperficie au ſortir de deux gouffres ; il faut même avoir ſoin de choiſir deux gouffres qui ne ſoient pas conſécutifs, mais éloignés le plus poſſible l'un de l'autre, & au moins d'environ 400 toiſes : cette pente ainſi déterminée, ſera la pente réduite de la rivière dans cette partie de ſon cours.

La courbe aſſymptotique du fond ſera dentelée par les gouffres.

206. Si l'on applique à la courbe aſſymptotique du cours général d'une rivière ce que nous venons de dire au ſujet des gouffres que l'équilibre exige, on verra que cette courbe doit être dentelée dans ſa longueur & à des intervalles plus ou moins grands, ſelon qu'on s'éloignera plus ou moins de la ſource (199). Cela confirme toujours mieux ce que nous avons dit plus haut ſur l'impoſſibilité de trouver une équation générale qui embraſſe toute la théorie des rivières, & ſur la néceſſité de ſe borner à des approximations.

Les gouffres diſparoîtront pendant les crues. Fig. 11.

207. S'il ſurvient une crue, d'une part, les eaux charieront du gravier, & combleront le gouffre KLM (*fig.* 11.); & de l'autre, leur force augmentant, elles écorneront & corroderont les parties ſaillantes M à l'iſſue des gouffres, comme étant les plus expoſées & les moins ſoutenues : alors l'équilibre ſera par-tout rompu, & le fond ſera dans un mouvement général ; mais la crue finie, les gouffres reparoîtront au même endroit ou ailleurs, ſuivant les circonſtances ; l'équilibre ſe rétablira dans les entre-deux, & tout reprendra une forme ſtable juſqu'à la crue ſuivante.

C'eſt auſſi ce que l'expérience prouve. Car dans les crues on ne remarque plus aucun veſtige de gouffre. On entend très-diſtinctement les galets rouler, preuve bien ſenſible & de la rupture de l'équilibre & du déſordre qui règne au fond. Mais après la crue tous ces mouvemens ceſſent & les gouffres ſe rétabliſſent.

Quelles sont les pierres qui ne seront pas entraînées par le courant.

208. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que la grossièreté des matières qui composent le fond est toujours relative à la masse d'eau d'équilibre & à la pente. D'un autre côté, nous venons de dire que dans les crues toutes les matières sont en mouvement. Supposons que le hasard ou la main de l'homme ait jetté dans un endroit déterminé du lit une pierre d'un volume beaucoup plus considérable que les plus lourdes qui se trouvent en cet endroit par l'effet de l'équilibre, & examinons ce qu'elle deviendra dans une crue. On verra dans la suite lorsque nous traiterons des digues, que cette question a son utilité.

Cette pierre perdant dans l'eau autant de son poids que pèse un pareil volume d'eau, n'aura plus que son poids relatif. Si sa figure est propre au mouvement & que le poids relatif ne soit pas fort considérable, elle sera entraînée jusqu'à l'endroit où le courant en s'étendant perdra de sa vîtesse & de sa force. Alors les eaux correspondantes franchissant cette pierre, l'affouilleront en aval, & enfin la pousseront dans cet affouillement. Dans ce cas, si elle n'est pas trop volumineuse, elle disparoîtra entièrement. Si au contraire, elle paroîtra en partie au-dessus de la surface du fond. Mais si elle étoit d'une forme qui ne fût aucunement propre au mouvement, ou si elle étoit d'un volume démesurément grand, elle seroit affouillée & enterrée sur la place, & elle disparoîtroit entièrement ou seulement en partie suivant sa grosseur, ainsi que dans le premier cas.

C'est ce qui arrive journellement, soit aux gros quartiers de pierres dont on construit les digues, soit à ceux qui tombent du penchant d'une montagne dans le lit d'une rivière qui passe à son pied, soit enfin à ceux que les grands torrens y charient. On peut observer qu'ils justifient tout ce que nous venons de dire.

Jusqu'ici nous avons parlé des corrosions naturelles exercées

ſur le fond : nous allons à préſent parler des corroſions artificielles ou provoquées par des ouvrages d'art.

Un rétréciſſement devroit abaiſſer le lit juſqu'à la ſource. Fig. 13.

209. Soient AB (*fig.* 13) le lit d'une rivière dont la pente ſur cet eſpace eſt AC. Suppoſons un rétréciſſement en D ; d'après ce que nous avons dit (192), le lit prendra la poſition EB en aval du point D : dans ce cas, les eaux en amont de D auront une pente = DE de plus qu'elles n'avoient auparavant. Donc (180) la groſſièreté du gravier devroit alors augmenter ; mais (190) par hypothèſe, cette groſſièreté eſt conſtante : donc la maſſe des eaux en amont étant conſtante, ainſi que la réſiſtance du fond, la vîteſſe doit y diminuer. Or, elle ne peut diminuer (170) que par la diminution de la pente : donc, à la rigueur, le nouveau fond A'E devroit avoir moins de pente que le fond primitif AD, & par conſéquent *la rivière devroit abaiſſer ſon lit en amont juſqu'à ſa ſource.*

Raiſons pour leſquelles l'abaiſſement n'aura lieu que juſqu'à une certaine diſtance en amont.

210. Cependant il ne faut pas abuſer des principes ; la raiſon nous fait ſentir que cet abaiſſement doit avoir un terme. En effet :

1°. Quoique (178) la groſſièreté du gravier doive être regardée comme conſtante au même endroit, cependant, comme (165) ce gravier eſt compoſé de galets de toutes groſſeurs au-deſſous d'un volume déterminé, on ſent que la force du courant en augmentant, entraînera toutes les matières les moins volumineuſes, & qu'alors le fond étant compoſé des plus gros galets, exercera la même réſiſtance que ſi la groſſièreté du gravier avoit augmenté.

2°. Nous venons de voir (196) que pour détruire cet excès de vîteſſe la nature provoque par intervalles des gouffres en contre-pente. Ces gouffres auront donc lieu ſur le nouveau fond quel qu'il ſoit d'ailleurs.

Par conſéquent, d'après ces raiſons, *le nouveau fond ne ſera point EA', mais EA qui rencontrera la ligne BA du premier en un point A pris à une certaine diſtance en amont du point*

D du rétréciſſement ; diſtance d'autant plus grande que la pente ſera moindre.

211. L'on voit évidemment qu'un pareil changement de pente dans la partie AB du lit ne peut s'opérer ſans corroſion ſur le fond. Or, par ce que nous venons de voir, (192, 209 & 210) il eſt clair que le nouveau fond rencontrera beaucoup plutôt l'ancien en aval qu'en amont du point D ; puiſque dans le premier cas les lignes DB & EB concourent naturellement, tandis qu'il n'en eſt pas de même de DA & EA. Donc *la corroſion du fond opérée par l'effet du rétréciſſement d'une rivière ſe fera ſentir plus loin en amont qu'en aval.*

La corroſion du fond, occaſionnée par un rétréciſſement, s'étendra davantage en amont qu'en aval.

212. Ce que nous venons de dire à ce ſujet eſt juſtifié par l'expérience.

Preuves tirées de l'expérience.

1°. Par-tout où l'on a conſtruit des ponts qui ont rétréci le lit des rivières, on peut voir qu'on a forcé le courant à creuſer d'autant plus que le lit ſe trouve plus rétréci. Il y en a des exemples ſans nombre ; mais nous ne citerons que le pont conſtruit ſur la rivière d'Iſſolle, à Saint-André, dans le département des Baſſes-Alpes. Ce pont ayant réduit aux deux tiers la largeur du lit de la rivière, a forcé le courant à creuſer plus de trois pieds ; &, en même tems, cette corroſion s'eſt fait ſentir à environ 400 toiſes en aval, & à plus de 1000 toiſes en amont, quoique la pente y ſoit d'environ 9 pieds ſur 100 toiſes.

2°. Le lit du Verdon à Caſtellanne dans le même département, a été pareillement réduit par une digue. Il en eſt encore réſulté une corroſion conſidérable & qui s'eſt étendue beaucoup plus en amont qu'en aval.

Ainſi la théorie & l'expérience prouvent qu'*en reſſerrant le lit d'une rivière à un endroit déterminé, le courant corrode le fond ; que cette corroſion s'exerce en amont & en aval, mais plus loin en amont qu'en aval.*

Effets produits par un radier construit à un rétrécissement. Fig. 14.

213. Si par l'effet d'un rétrécissement en D (*fig.* 14.) le courant doit creuser sur l'espace AB, & établir le fond suivant la ligne AEB, & qu'on barre le lit par un radier EFGH, nous disons :

1°. Que *le nouveau fond en amont ne pourra pas s'établir au-dessous de la ligne AF qui passe par le couronnement du radier.*

2°. Qu'*en aval le nouveau fond s'établira sur EB de même que s'il n'y avoit point de radier.*

3°. Qu'*il y aura par conséquent une cascade GH.*

La première partie est évidente : car si l'équilibre exigeoit la pente de AE pour s'établir, à plus forte raison s'établira-t-il sous la pente de AF moindre que celle de AE.

On se convaincra de la seconde partie, en faisant attention que le courant ne s'établit sur EB, dont la pente est moindre que celle de DB, que parce que la force augmente, & qu'à raison de cela, les plus petits galets étant entraînés, ainsi que nous avons dit (210) que la chose avoit lieu sur AE, la résistance dépend, à la rigueur, en partie de l'augmentation de grossièreté du gravier : elle doit donc dépendre aussi de la longueur de FB sur laquelle ces galets sont disséminés. Or, si nous menons, par le couronnement du radier, la ligne GB' parallelle à HB, elle sera plus courte que cette dernière. Donc elle ne suffira pas à l'équilibre. Par conséquent elle doit s'abaisser au-dessous & prendre la position EB, la seule dont la longueur lui convienne pour l'équilibre.

Quant à la troisième partie, elle devient évidente par les deux autres. Car AF étant plus haute que EB, le courant doit éprouver une cascade en GH.

Preuve tirée de l'expérience.

214. Ce que nous venons de dire est prouvé par l'expérience. Le pont du Verdon à Vinon, sur les limites des départemens du Var & des Basses-Alpes, a été construit sur un rocher dans lequel on a creusé le lit de la rivière. Ce lit ayant été réduit

par

par le pont, le rocher ſervant de radier auroit dû être arraſé à la profondeur de la corroſion qui devoit avoir lieu, tandis qu'il ne l'a été qu'à la profondeur de l'ancien lit : auſſi en eſt-il arrivé qu'il y a eu une caſcade conſidérable à l'iſſue du rocher; que le lit en aval s'eſt ſenſiblement abaiſſé, & qu'il n'eſt ſurvenu aucun changement en amont.

Emploi des radiers pour préſerver de la corroſion les ouvrages d'art en amont.

215. Il ſuit de la propoſition du n. 213, que *ſi l'on veut mettre à l'abri des affouillemens d'une rivière des édifices, des ponts, &c. conſtruits ſur ſon lit, il ſuffira de barrer ce lit par un radier placé en aval à une hauteur convenable.* Car le courant ne pouvant pas s'abaiſſer au-deſſous de la ligne AF, il eſt viſible que ſi les baſſes fondations des ouvrages qu'on veut défendre ſont inférieures à cette ligne, elles ſeront à l'abri de tout affouillement.

Utilité des radiers dans la conſtruction des ponts.

216. Ces ſortes d'ouvrages ſont eſſentiels dans une infinité de cas, & ſur-tout dans la conſtruction des ponts. Dans ce dernier cas, on voit qu'il eſt à propos de tracer le radier ſur la tranſverſale qui joint les ouvrages extérieurs en aval des piles : alors il mettra à couvert de la corroſion les fondations de tous les travaux, ce qui pourra diminuer conſidérablement les frais de conſtruction. Il faut néanmoins en excepter les affouillemens qui ont lieu aux arrières-becs, & qui tiennent à un mouvement de turbination produit par la réunion des courans en aval des piles. Cependant, quoiqu'étrangers à la corroſion directe, ces affouillemens peuvent être prévenus en donnant au radier une largeur ſuffiſante pour aboutir juſqu'au parement d'aval du pont; car alors, ne préſentant à l'action des eaux qu'une ſurface incorroſible, il eſt clair que ces affouillemens n'auront pas lieu.

Au ſurplus, dans tous les cas, ſi la rivière eſt navigable ou flottable, on doit placer le radier à la profondeur convenable pour qu'il n'y ait pas de caſcade à ſon iſſue (213) : car on ſent

combien les cascades sont nuisibles à la navigation & à la flottaison.

Dans les rétrécissemens, la profondeur de la corrosion est en raison inverse de la largeur des rétrécissemens.
Fig. 14.

217. *Si l'on rétrécit le lit d'une rivière, la profondeur de la corrosion sera d'autant plus grande, que la rivière sera plus resserrée.*

Pour le démontrer, supposons que la rivière ait essuyé au même endroit D deux rétrécissemens consécutifs, dont le second soit plus fort que le premier, & que par l'effet du premier le fond en aval ait pris la position EB : nous allons voir qu'à la suite du second, la nouvelle position E'B" sera inférieure à EB.

Les observations que nous avons faites (209) sur la grossièreté des galets & les gouffres du nouveau fond AE en amont, doivent visiblement s'appliquer au nouveau fond EB en aval. Donc, puisque par hypothèse il y a augmentation de force dans le nouveau rétrécissement, il doit y avoir aussi, pour la détruire, une augmentation d'obstacles. Mais, d'une part, lorsque la grossièreté des galets sera parvenue à son *maximum*, elle s'arrêtera ; & de l'autre, la pente de E'B" devant (192) être moindre que celle de EB, il y aura (199) moins de gouffres sur E'B" que sur EB : donc cette augmentation d'obstacles ne peut avoir lieu que par une augmentation de longueur du nouveau fond : ce nouveau fond E'B" sera donc plus long que EB à proportion de l'augmentation du rétrécissement. Or, si ce nouveau fond tomboit sur EB ou supérieurement, il seroit seulement égal ou moindre en longueur : donc il doit tomber au-dessous & prendre la position E'B". Par conséquent DE' sera plus grande que DE ; & elle sera d'autant plus grande, que E'B" sera plus longue ou que la rivière sera plus rétrécie en D.

La chose est d'ailleurs évidente par l'expérience. Car par-tout où l'on a inégalement rétréci le lit d'une rivière, on s'est constamment apperçu que la corrosion du fond étoit assez généralement en raison inverse de la largeur qu'on laissoit au courant.

218. Pour opérer la corrosion dont nous parlons, les eaux d'équilibre (89. 2e.) suffiroient; mais c'est particulièrement dans les crues qu'elle s'effectue : car par le moyen du moindre rétrécissement, la plus petite crue équivaut à une crue beaucoup plus forte, par l'augmentation de profondeur qu'elle procure aux eaux; & l'on sait, par ce qui précède, que c'est particulièrement dans les fortes crues que les eaux travaillent le fond. La corrosion s'opère sur-tout pendant les crues.

C'est encore ce que l'expérience confirme; car, dans les exemples que nous avons rapportés (211) sur les rivières d'Issôle & de Verdon, on a donné une largeur sensiblement plus grande que celle qu'il convenoit de donner aux eaux d'équilibre. Cependant, ces rivières n'ont pas laissé de corroder le fond & d'abaisser leur lit. On peut faire la même observation sur les divers ponts auxquels on a donné plus d'ouverture qu'il n'en faut aux eaux d'équilibre.

219. *Si l'on resserre le lit d'une rivière un peu au-dessous du point B où la corrosion opérée par un premier rétrécissement en D cesse, le courant entretiendra la première & la propagera en aval.* La corrosion du fond se propagera par des rétrécissemens consécutifs. Fig. 14.

Cela est évident, puisque, toutes choses d'ailleurs égales, les mêmes causes produisent les mêmes effets.

220. Il suit de-là, 1°. que *Si l'on veut réduire une rivière, & la forcer à creuser sur une certaine longueur, il suffit d'en rétrécir le lit par intervalles, & aux endroits où la corrosion produite par le rétrécissement voisin cessera.* Donc les rétrécissemens par intervalles réduiront le lit des rivières.

2°. Que par conséquent *la réduction du lit d'une rivière n'a pas besoin d'ouvrages continus.*

Ces conséquences sont essentielles; car on verra bientôt qu'elles faciliteront beaucoup les ouvrages d'art qu'on est obligé d'exécuter pour contenir les rivières, & qu'elles diminueront infiniment les frais de construction. Nous allons entrer dans quelques détails à ce sujet.

Quels sont les élémens qui déterminent la largeur des rétrécissemens.

221. En rétrécissant le lit d'une rivière, il est démontré (217) que moins on lui donnera de largeur, plus elle creusera. Par conséquent, comme il est très-avantageux que ce lit soit le plus profond possible, il semble, au premier abord, que le rétrécissement devroit être aussi le plus fort possible : mais dans la pratique, la chose est inadmissible, & ce rétrécissement doit avoir des bornes. En effet, la largeur du lit doit être telle que les eaux des plus grandes crues puissent passer librement. D'ailleurs, l'objet qu'on a en vue, en forçant une rivière à creuser, est de mettre les propriétés riveraines à l'abri des inondations. Or, pour cela, il faut en général peu d'augmentation de profondeur dans les rivières dont nous parlons. Ainsi, jusques-là il paroît qu'il vaut mieux donner plus que moins de largeur aux rétrécissemens. Cependant, d'un autre côté, nous verrons bientôt que si l'on donne trop de largeur, la rivière serpentera ; qu'elle se divisera en plusieurs branches ; qu'on ne garantira qu'imparfaitement les domaines riverains, & que, par conséquent, on n'atteindra pas l'objet qu'on se propose.

En pesant toutes ces considérations, il paroît que le volume d'eau, dans les plus grandes crues, est le principal élément qui doit fixer la largeur des rétrécissemens. C'est donc sur ce volume qu'on la règlera, & c'est sur la profondeur que ces eaux doivent avoir en ces endroits, qu'on déterminera la hauteur des ouvrages, afin qu'ils ne soient pas franchis. Par conséquent, tout est subordonné aux observations à faire à cet égard sur les rivières sur lesquelles on se propose d'opérer.

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action sur les bords.

Les rivières tendent à suivre la ligne droite.

222. *Les rivières tendent à suivre la ligne droite.*

Cette proposition n'est que le principe du n. 105 1°. Ainsi, il

n'a pas besoin de démonstration. Nous en conclurons seulement, que lorsqu'elles serpentent ou qu'elles changent de direction, c'est parce que ces effets sont provoqués par des causes particulières que nous allons examiner.

223. Nous avons démontré (194 4°.) que lorsque le lit d'une rivière est trop large, il s'exhausse : cet exhaussement, produit par les dépôts de gravier que la rivière ne peut plus charier parce qu'elle perd sa force en s'étendant sur une trop grande largeur, rendra le lit convexe & bombé vers son milieu ; il sera donc plus bas vers les bords. Or (105 2°.), un courant tend toujours à s'établir aux endroits les plus bas : donc, *lorsqu'une rivière aura trop de largeur, elle se portera vers les bords.*

Si le lit est trop large, le courant se portera vers les bords.

224. Dans les siècles passés, on croyoit qu'il falloit donner à une rivière la plus grande largeur possible pour faciliter le passage des eaux. Il existe encore un concordat passé entre la France & la cour de Rome, qui porte qu'entre la ci-devant Provence & le ci-devant comté Venaissin, le lit de la Durance ne pourroit pas avoir moins de 300 toises de largeur. On avoit les mêmes idées sur toutes les rivières, & l'on y rapportoit les ouvrages que l'on construisoit sur ces mêmes rivières. C'est ainsi qu'à Digne on a construit, sur la rivière de Bléoune, un pont qui a trois fois plus d'ouverture qu'il ne lui en faut : aussi, partout les rivières ont exhaussé leur lit, & se sont portées vers les bords, ainsi que nous venons de voir que la chose devoit avoir lieu.

Les anciens donnoient toujours trop de largeur aux rivières.

225. Les bords sur lesquels les rivières dont nous parlons se porteront, pourront être :

Quelle est la nature des bords d'une rivière.

1°. En gravier ; 2°. en terre & gravier ; 3°. en terre ; 4°. en roches.

Ils ne seront qu'en gravier, lorsque le courant se renfermera dans le lit majeur (90) : car (154), dans ce cas, le lit n'est composé que de gravier.

Ils feront en terre & gravier, lorfque (155) le lit majeur fera borné par des domaines gagnés aux dépens de la rivière : alors le gravier fera deffous, & la terre lui fera fuperpofée.

Ils feront en terre fans gravier au-deffous, lorfque le lit de la rivière fera borné par des domaines qui n'en auront jamais fait partie.

On doit dire la même chofe des bords en roches.

Dans les trois premiers cas, les bords feront plus ou moins corrofibles ; mais ils ne le feront aucunement dans le quatrième. Nous allons voir de quelle manière le courant agira fur eux.

La corrofion d'une berge fera en raifon inverfe de l'angle d'obliquité du courant.

Fig. 15.

226. On fent, au premier abord, que fi le courant agit fur une berge corrofible, cette berge fera corrodée ; & que, pour cela, il eft néceffaire que le courant fe porte fur elle avec un certain degré d'obliquité. En effet, foit le courant ABCD (*fig.* 15.) qui fe porte fur la berge KH fous l'angle oblique ABK ; repréfentons par EF la force d'un filet quelconque, & abaiffons la perpendiculaire EG fur la direction de la berge KH, la ligne GF exprimera l'action de chaque filet fur les parties faillantes de la berge. Quant à EG, fon action ne tend qu'à contenir ces mêmes parties, & ne peut pas contribuer à la dégradation de KH : d'où il eft aifé de conclure que, *toutes chofes d'ailleurs égales, le courant agira avec d'autant plus d'énergie pour détacher & entraîner les parties d'une berge corrofible, que l'angle d'obliquité EFG = ABK fera moindre.*

L'expérience juftifie cette affertion, qui, au premier coup-d'œil, paroît un paradoxe : car ce n'eft jamais à l'endroit où la rivière choque un bord, que les grandes dégradations ont lieu ; mais en aval de cet endroit, & lorfque le courant s'eft établi le long de ce même bord.

La corrofion d'une berge fera en raifon directe de la force du courant, & en raifon inverfe de la tenacité des matières.

227. *Si le courant s'établit le long d'une berge, la corrofion fera d'autant plus rapide que le courant aura plus de force, & que les parties de la berge auront moins de tenacité.*

Car 1°. plus le courant aura de force, plus il agira avec énergie ſur les parties ſaillantes.

2°. Moins les parties de la berge auront de tenacité, moins elles oppoſeront de réſiſtance à l'action du courant.

228. Donc, 1°. *Si le bord ſur lequel le courant agit n'eſt compoſé que de gravier, la corroſion ſera la plus rapide poſſible.* Car les galets du gravier n'ayant point de liaiſon entr'eux, & préſentant beaucoup de parties ſaillantes à l'action de l'eau, ils ſeront plus facilement détachés.

Conſéquences qui en réſultent.

2°. *Les terreins gagnés ſur le lit des rivières, ſeront plus expoſés à être emportés.* Car (156) ces terreins portent ſur le gravier.

3°. *Quand même le gravier ſeroit à une très-grande profondeur ſous les domaines riverains, ils ſeront corrodés avec facilité par le courant.* Car ces domaines ont été originairement formés par des dépôts de limon qui eſt toujours plus ou moins mêlé de ſable : or, le ſable diminue l'adhéſion des parties.

4°. *Si les berges ſont compoſées de terres graſſes & viſqueuſes, telles, par exemple, que les terres argilleuſes, elles ſeront moins corrodées.* Car alors les parties qui les compoſent ayant plus d'adhéſion entr'elles, ſe détachent plus difficilement : il peut même arriver que la viſcoſité ſoit telle qu'elles ne ſoient pas entamées, & que le courant ne les endommage aucunement.

5°. *Si les berges ſont en roches ou revêtues de digues, elles ne ſeront point corrodées.* Car, dans ce cas, les parties qui les compoſent ont une adhéſion beaucoup plus forte que l'action du courant.

229. *Lorſque les bords ſeront corrodés, la corroſion formera une ligne courbe.*

La corroſion des bords formera une ligne courbe.
Fig. 15.

Le courant ABCD tend (105 1°.) à ſe mouvoir ſuivant ſa direction primitive, & à prendre la poſition AB'C'D. Il entamera donc la berge KH, & agira ſur la partie poſtérieure pour ſuivre ſa direction AB'; mais il ſera détourné à chaque pas de

ſa route, par la réaction des matières placées derrière KH; car ces matières céderont en partie; mais en cédant, elles obligeront le courant à changer de direction à chaque point de ſon cours. Or, lorſqu'un corps change à chaque inſtant de direction, il ſuit néceſſairement une ligne courbe: donc le courant ſuivra la courbe quelconque BMNH.

La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières. Fig. 15.

230. *La concavité de la courbe de corroſion ſera en raiſon inverſe de la tenacité des matières de la berge corrodée.*

Car (227) plus les matières auront de tenacité, plus elles oppoſeront de réſiſtance, & moins le courant s'enfoncera au-delà de BH. Au contraire, moins cette tenacité ſera grande, moins la réſiſtance ſera conſidérable, & moins le courant ſe détournera à chaque pas de ſa première direction, ou plus il s'enfoncera au-delà de la berge.

Conſéquences de cette propoſition.

231. Donc 1°. *la plus grande courbure aura lieu ſur le gravier.*

2°. *Cette courbure diminuera par degrés ſur la terre, l'argille, &c. ſuivant le degré de viſcoſité de chaque eſpèce de matière.*

3°. Elle s'anéantira ſur le rocher, les digues, &c.

Cela eſt évident par ce qui précède; & d'ailleurs la choſe eſt conforme à l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Le lit d'une rivière ſera corrodé & abaiſſé au pied d'une digue oblique & incorroſible. Fig. 15.

232. Suppoſons la berge oblique KH incorroſible: imaginons le courant ABCD décompoſé en une infinité de filets, tels que AB, *ab*, *cd*, *ef*, &c. Le premier filet arrivé au point B, trouvant ſur ſa route un obſtacle inſurmontable KH, s'établira le long de cet obſtacle (105 3°.); le ſecond filet *ab*, rencontrant le même obſtacle, preſſera le premier contre cet obſtacle & prendra la même direction; le troiſième *cd*, arrivé à l'obſtacle, preſſera pareillement les deux premiers, & ſuivra la même route qu'eux; & ainſi de ſuite juſqu'au dernier filet CD. Chaque filet preſſant donc les précédens contre l'obſtacle KH, le courant ſera forcé de s'établir le long de ce même obſtacle. Mais à raiſon de cette preſſion contre l'obſtacle, la largeur du courant

courant établi le long de KH doit néceſſairement être moindre qu'en AD. Donc (217) *le courant ABCD ayant pris la poſition BCLH le long de la berge oblique & incorroſible KH, corrodera le fond & l'abaiſſera d'autant plus que la largeur de la rivière y ſera moindre.*

233. Par la corroſion dont nous venons de parler, il eſt viſible que le nouveau lit BCLH du courant le long de la berge oblique & incorroſible KH, deviendra l'endroit le plus bas. Or (105 2°.), le courant tend toujours à s'établir à l'endroit le plus bas: donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

Donc une berge oblique & incorroſible attirera le courant.

234. Suppoſons que la berge dont nous venons de parler ſoit une digue: elle produira le même effet que cette berge; c'eſt-à-dire, *qu'elle attirera le courant & l'obligera à corroder le fond.* Dans ce cas, ſi la digue n'eſt pas établie au-deſſous de la corroſion qui s'opèrera, elle s'écroulera. La choſe eſt amplement vérifiée par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en convaincre.

Une digue oblique produira le même effet.

235. Les barres de rocher qui bordent ſouvent le lit des rivières, produiſent auſſi le même effet; c'eſt-à-dire, qu'elles occaſionnent des affouillemens à leur baſe & attirent le courant: car il eſt rare que ces barres ne ſe préſentent obliquement à la direction des rivières. De-là vient le proverbe des nautonniers de rivière: *les roches attirent les eaux.* Ce n'eſt point les rochers qui les attirent, mais leur direction, ainſi que l'on peut le conclure de ce qui précède.

Raiſon du proverbe des nautonniers: *les roches attirent les eaux.*

236. Bien des gens prétendent que les berges obliques & incorroſibles, telles que les digues, réfléchiſſent le courant. C'eſt une erreur. Car la réflexion par le choc, ſuppoſe que le corps choquant ou le corps choqué ſoit élaſtique. Or ni l'eau ni les matières qui compoſent les berges, quelles qu'elles ſoient d'ailleurs, n'ont aucune eſpèce d'élaſticité. Donc *les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant.*

Les berges obliques & incorroſibles ne réfléchiſſent pas le courant.
Fig. 15.

D'ailleurs l'expérience eſt d'accord avec les principes. Qu'on parcoure toutes les digues & les autres obſtacles quelconques obliques à la direction du courant, on n'y rencontrera jamais de réflexion ; & s'il arrive que quelquefois le courant abandonne la berge, ce n'eſt qu'à raiſon de quelqu'obſtacle particulier qui ſe trouve en aval & qui occaſionne ce changement de direction.

Comment, d'autre part, une pareille réflexion ſeroit-elle poſſible? Les filets ſe preſſent continuellement les uns les autres contre la berge (232) & par-là s'oppoſent à cet effet, tandis que la pente du lit de la rivière, ſe trouvant dans le ſens de B vers H, le courant réfléchi ſeroit obligé de s'éloigner de l'endroit où cette pente eſt plus forte; ce qui ſeroit contraire au principe établi au n. 105 2°.

Effets produits à l'extrêmité d'une digue oblique. Fig. 15.

237. Suppoſons encore que KH ſoit une digue. Le courant, après l'avoir parcouru dans ſa longueur, arrivé à ſon extrêmité H aura la liberté de s'étendre. Alors (194) ſa force diminuant, il y dépoſera les matières enlevées ſur BCLH (232). Ces dépôts apporteront ordinairement des changemens dans ſon cours: le courant ſuivra rarement ſa direction précédente, & il s'en écartera plus ou moins, d'un côté ou de l'autre, ſuivant les circonſtances & les localités; quelquefois il ſemblera ſe réfléchir; d'autrefois il contournera la digue & ſe jettera ſur la partie poſtérieure. Ce dernier cas aura lieu ſur-tout lorſque cette partie ſe trouvera ſenſiblement plus baſſe que le reſte du lit.

Tout cela eſt confirmé par l'expérience, ainſi que chacun peut s'en aſſurer.

Dans un lit trop large, une berge parallèle & incorroſible peut auſſi attirer le courant.

238. *Une berge incorroſible & parallèle à la direction du lit d'une rivière, peut auſſi, dans un lit trop large, attirer le courant.*

Car (223) un lit trop large portant le courant vers les bords, rend ces mêmes bords obliques à ſa direction. Or, alors la berge eſt dans le cas du n. 232.

239. La trop grande largeur du lit d'une rivière ne porte pas seulement le courant vers les bords, elle occasionne encore la division en plusieurs branches. En effet, un lit trop large n'est jamais assez uni pour que, dans une grande crue, les eaux y aient par-tout la même profondeur. Dans ce cas il y aura, ou du moins il pourra y avoir plusieurs endroits où le courant aura plus de force que dans les autres; alors il creusera aux premiers & déposera aux seconds. La crue finie, les endroits corrodés peuvent l'être assez profondément pour qu'une partie des eaux de la branche-mère s'y détermine & se sépare de la masse. Ainsi la trop grande largeur du lit est la première cause de la division des rivières.

Première cause de la division des rivières. La trop grande largeur du lit.

La Durance & toutes les rivières qui ont la liberté de s'étendre, nous en offrent des exemples sans nombre.

240. *Les arbres arbrisseaux &c. chariés par le courant, provoquent la division.*

Deuxième cause de division. Les arbres, arbrisseaux, &c. chariés par le courant.

Car ces corps s'arrêtant dans le lit par quelque accident que ce soit, par exemple, lors de la baisse d'une crue, diminueront la vîtesse du courant, arrêteront le sable & le gravier, & formeront des isles plus ou moins grandes suivant les circonstances.

241. *Les dépôts qui s'arrêtent au bout d'une digue oblique* (237) *occasionnent aussi fort souvent la division du courant.*

Troisième cause de division. Les dépôts qui se forment au bout d'une digue oblique.

Cet effet aura lieu, sur-tout, si la partie postérieure de la digue est basse; car alors, dans une crue, les eaux s'extravasant de tous côtés, se portent sur-tout vers les endroits les plus bas (105 2°.). Or, dans ce cas, la partie ultérieure du lit & la partie postérieure de la digue ont l'une & l'autre beaucoup de pente. Donc il pourra arriver, comme il arrive fréquemment, que les eaux, après la crue, se partagent en cet endroit pour se porter partie d'un côté & partie de l'autre, ainsi que l'expérience le prouve.

Quatrième cause de division. Les grandes crues.

242. *Les grandes crues divisent pareillement la rivière en plusieurs branches.*

La chose arrive par les raisons mentionnées au n. 239.

Cinquième cause de division. Les trop fortes sinuosités. Fig. 16.

243. Soit la rivière ABDC (fig. 16) qui serpente dans le lit majeur sinueux EBMHIKL, & qui tombe sur la berge EBM en B. Supposons que cette berge soit assez basse pour être franchie par les eaux, dans une grande crue, la pente sera plus forte suivant la droite DQ, que suivant la ligne sinueuse DNQ. D'ailleurs la ligne DQ s'approche plus de la direction primitive CD que la ligne DNQ. Donc (105 1°. 2°.) le courant s'y ouvrira un lit & s'établira en partie sur BDMG. C'est ce qui arrive fréquemment aux rivières dont nous parlons.

Unique moyen de prévenir la division des rivières.

244. *On préviendra la division des rivières en réduisant leur lit & en détruisant les digues obliques.*

Car 1°. la réduction du lit obligera le courant à creuser, augmentera sa force & ne permettra ni à la rivière de s'extravaser, ni aux dépôts de s'y former.

2°. Les digues obliques n'occasionneront ni dépôts ni ricochets, & ne gêneront plus alors le cours des eaux en leur faisant prendre des directions forcées.

Passons aux rivières dont le fond est de sable & de limon.

CHAPITRE II.

Des Rivières à fond de sable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des rivières à fond de sable & de limon.

245. C'EST par la comparaison que nous avons constamment faite de la force du courant avec la résistance du fond que,

dans le chapitre précédent, nous avons déduit la théorie des rivières à fond de gravier. Il n'y a pas deux principes ſur cet objet, & le même nous donnera pareillement, ainſi qu'on va le voir, la théorie des rivières à fond de ſable & de limon.

Dans les rivières à fond de ſable & de limon, les lits majeur & mineur ſe confondent.

246. Les rivières dont nous parlons n'admettent point de différence entre le lit majeur & le lit mineur. Ces deux lits n'ont lieu que dans les rivières à fond de gravier, quand elles ont la liberté de s'étendre; au lieu qu'ils ſe confondent dans celles à fond de ſable & de limon, ainſi que l'expérience le prouve conſtamment.

Diſtinction entre le *lit naturel* & le *lit factice*.

247. Parmi ces rivières, les unes ont un *lit naturel* & les autres un *lit factice*. Le *lit naturel* eſt celui que la nature ſemble avoir creuſé, & dont les bords ne paroiſſent pas être des dépôts des eaux : tel eſt le lit de la Seine à Paris. Le *lit factice*, au contraire, eſt celui que la rivière s'eſt frayé, ſoit par elle-même, ſoit le plus ſouvent par le ſecours de l'homme, à travers les dépôts laiſſés par ſes eaux : tel eſt le lit du Rhône à Arles.

Les rivières à fond de ſable ont moins de pente que celles à fond de gravier.

248. Nous avons vu (176) que les matières du fond étoient plus ou moins groſſières ſuivant que le degré de pente étoit plus ou moins grand. Donc les rivières à fond de ſable auront moins de pente que celles à fond de gravier; ainſi que l'expérience le prouve.

Et celles à fond de limon en ont moins que celles à fond de ſable.

249. Donc auſſi, d'après le même principe, les rivières à fond de limon auront moins de pente que celles à fond de ſable. La choſe eſt prouvée d'ailleurs par l'expérience.

Uniformité de viteſſe dans les rivières à fond de ſable & de limon.

250. Nous avons dit (178) & nous avons vu (179), par la forme de la courbe aſſymptotique du fond, que la pente décroiſſoit continuellement en avançant vers l'embouchure. Donc l'accélération des eaux ſuperficielles, dont nous avons parlé au n. 195, y ſera toujours fort petite. Mais les eaux de la mer leur oppoſent une réſiſtance qui (103) ſe fait ſentir de proche en proche juſqu'à de très-grandes diſtances; &, d'autre part,

les eaux presque dormantes, qui sont aux environs des sinuosités, augmentent encore cette même résistance. D'où il résulte que cette double réaction détruit ordinairement l'effet de l'accélération. Par conséquent *les rivières à fond de sable ou de limon doivent en général avoir une vîtesse uniforme ;* & c'est ce que l'expérience justifie.

A l'embouchure le fond ne sera qu'un limon.

251. La plus grande résistance ayant lieu à l'embouchure, dans la mer, ce sera en cet endroit que la vîtesse & la force du courant seront les moindres possibles. D'où il résulte qu'*à l'embouchure* (173) *la pente sera la moindre possible, & que le fond n'y sera que de limon*, ainsi que l'expérience le prouve à l'embouchure de tous les fleuves.

Un fond de sable & de limon est moins variable qu'un fond de gravier.

252. *Un fond de sable & de limon est moins variable qu'un fond de gravier.*

Car un fond de sable & de limon suppose (173) moins de force dans le courant. Or, les causes sont toujours en proportion avec les effets qu'elles produisent.

Dans les crues, la vîtesse est plus forte à l'embouchure, qu'en amont.

253. Quoique (251) la vîtesse du courant soit, en général, moindre à l'embouchure que par-tout ailleurs, il y a néanmoins un cas où elle est plus grande en cet endroit qu'en amont : ce cas est celui des fortes crues. On sent qu'alors les eaux superficielles, étant supérieures au niveau de celles de la mer, auront la liberté d'obéir à l'accélération de cet excès de pente, sans éprouver une grande résistance de la part de ces dernières. Ce qui prouve la chose, c'est que, tant sur le Pô que sur le Rhône, plus on avance vers l'embouchure, plus la hauteur des chaussées, destinées à contenir les eaux des crues, diminue.

§. II.

De l'action des Eaux sur le fond en sable & limon.

Dans ces rivières il n'y aura point de gouffre d'équilibre.

254. Nous avons vu (196) que les rivières à fond de gravier creusoient des gouffres par intervalles, & que ces gouffres étoient

produits par l'accélération des eaux de la ſuperficie (195). Or (250), les rivières à fond de ſable & de limon, ont, en général, une vîteſſe uniforme, & par conſéquent il n'y a point d'accélération à la ſurface. Donc, dans *les rivières à fond de ſable ou de limon il ne ſe creuſera point de gouffre.*

Pour s'en convaincre, par expérience, on n'a qu'à parcourir toutes les rivières en pays en plaine, & dont par conſéquent (160 2°.) le fond n'eſt qu'en ſable ou limon ; on n'y remarquera jamais aucuns des gouffres mentionnés au n. 166 & qu'on rencontre à chaque pas ſur les rivières à fond de gravier. La Seine à Paris nous en fournit un exemple.

255. Dans les rivières à fond de gravier, *ſi le volume d'eau augmente & que la groſſièreté des matières du fond ſoit conſtante, la pente diminue* (190).

La groſſièreté des matières du fond étant conſtante, la pente diminuera quand le volume d'eau augmentera.

Il eſt viſible que la choſe aura pareillement lieu, & pour les mêmes raiſons, dans les rivières à fond de ſable ou de limon. Car le degré de groſſièreté des matières du fond n'eſt pas ſpécifié.

256. Il ſuit de-là, que tout ce que nous avons dit (192, 209, 221) au ſujet des effets produits par les rétréciſſemens des lits de rivières à fond de gravier, s'applique littéralement aux rivières à fond de ſable & de limon. D'où nous conclurons que, dans ces dernières rivières, ſi l'on rétrécit le lit à un endroit déterminé,

Conſéquences qui en réſultent dans le cas des rétréciſſemens.

1°. *Le fond baiſſera en amont & en aval du rétréciſſement, par la corroſion.*

2°. *La profondeur de la corroſion ſera ſenſiblement en raiſon inverſe de la largeur du lit.*

257. Il s'enſuit pareillement, que dans ces rivières, *pour baiſſer le lit ſur une étendue déterminée, on n'a beſoin que de les reſſerrer par intervalles, & qu'il eſt inutile d'y employer des ouvrages continus* (220).

Par des rétréciſſemens partiels, on forcera ces rivières à baiſſer leur lit.

La grossièreté des matières du fond étant constante, la pente augmentera quand le volume d'eau diminuera.

258. On doit encore appliquer à ces rivières ce que nous avons dit (193 & 194) au sujet des effets produits par la diminution des eaux, puisque le degré de grossièreté des matières du fond est indéterminé. Donc, dans les rivières dont nous parlons, *si le volume d'eau diminue, la grossièreté des matières du fond restant la même, la pente augmentera.*

Conséquences qui en résultent.

259. De-là il suit 1°. *que si l'on saigne une rivière de la nature de celles dont nous traitons, la pente augmentera.*

2°. *Que si la pente est constante, la vîtesse diminuera.*

3°. *Que si une rivière est trop large, sa pente augmentera.*

4°. *Qu'une rivière trop large exhaussera son lit.*

Les démonstrations en sont absolument les mêmes qu'aux n^{os}. cités

§. III.

Des variations des rivières à fond de sable & de limon, & de leur action sur les bords.

Si le lit s'exhausse inégalement par des dépôts, le courant se portera à l'endroit le plus bas.

260. Nous venons de dire (259 4°.) que si le lit est trop large, il s'exhaussera. Dans ce cas, si l'exhaussement est uniforme d'un bord à l'autre, le courant ne variera pas; car ces rivières n'ayant pas de lit majeur, les bords ne seront pas alors, comme dans celles à fond de gravier, plus bas que le lit, & par conséquent cet exhaussement ne porteroit pas les eaux sur les berges. Mais si par quelque cause que ce soit, l'exhaussement est irrégulier, le courant s'établira à l'endroit le plus bas & où l'exhaussement sera moindre. Car (105 2°.) les eaux se portent toujours aux endroits les plus bas.

Formation des îles dans le lit de ces rivières.

261. A mesure qu'un dépôt commencera à se former dans le lit de la rivière, le courant en cet endroit y devenant moins profond, & par-là même sa force y diminuant, le dépôt s'élèvera toujours plus, jusqu'à ce qu'il paroisse à la superficie des eaux:

eaux : alors il formera une île dans le lit, & cette île sera permanente : car puisque le courant n'a pas eu assez de force pour la détruire dans son principe, on sent bien, qu'à plus forte raison, il ne pourra pas l'anéantir, lorsqu'elle aura reçu tous ses accroissemens.

La Loire & la Seine nous en offrent des exemples sans fin. Toutes les îles dont leurs lits sont parsemés, ne sont dues qu'à leur trop grande largeur primitive ; & l'on ne voit pas qu'aucune de ces îles soit détruite par l'action des eaux, comme le sont journellement celles qui sont formées par les rivières à fond de gravier.

262. Il paroît, d'après cela, que, lorsque ces rivières ont trop de largeur, elles se réduisent, comme d'elles-mêmes, en formant des îles dans leur sein. Mais, en formant ces îles, elles se partagent en diverses branches. Toutes ces branches réunies formeroient un volume d'eau qui auroit plus de largeur & plus de profondeur que celui de chaque branche prise en particulier ; & il est visible que la navigation y gagneroit, au lieu qu'elle perd nécessairement par la division. C'est pour cette raison qu'il est essentiel, dans ces rivières, de provoquer la destruction des dépôts, à mesure qu'ils se manifestent, & d'employer pour cela les rétrécissemens, puisque les dépôts ne proviennent que des excès de largeur.

Ces îles sont nuisibles à la navigation.

263. Dans les rivières à fond de sable & de limon, le courant est ordinairement au milieu. C'est pour cette raison, qu'étant particulièrement affectées à la navigation, on recommande de donner un nombre impair d'arches aux ponts qu'on y construit, à cause qu'alors le courant donnera dans le vuide de l'arche du milieu ; au lieu qu'il donneroit sur le plein d'une pile, si le nombre d'arches étoit pair. Il est rare que le courant quitte le milieu, dans les rivières à lit naturel, comme la Seine ; mais la chose est moins rare dans les rivières à lit factice, comme le Rhône, à la hauteur d'Arles. Dans le premier

Le courant est ordinairement au milieu du lit naturel.

Quelquefois il s'en écarte dans un lit factice.

cas, c'eſt la nature elle-même qui a établi les bords, & par conſéquent c'eſt la nature qui contient la rivière au fond de la vallée qu'elle lui a aſſignée : dans le ſecond cas, au contraire, les bords ne ſont que des dépôts que la rivière a laiſſés en ſe retirant. Or, la cauſe qui l'a obligée à ſe retirer, peut auſſi la forcer à s'approcher de nouveau des dépôts qui bornent ſon lit. En effet, ces anciens dépôts ſe ſont formés, dans l'origine, par quelque obſtacle qui s'eſt arrêté dans le lit primitif : or, ſi quelque nouvel obſtacle pareil s'arrête dans le lit actuel, il eſt viſible qu'il s'y formera un atterriſſement qui portera le courant ſur la berge.

Conſidérations ſur la corroſion des berges.

264. Si le courant s'établit le long d'une berge corroſible, il y aura corroſion, & cette corroſion formera une courbe concave, ainſi que dans les rivières à fond de gravier; mais la concavité n'en ſera pas auſſi forte ni auſſi rapide : car, 1°. il n'y a point de gravier au-deſſous des berges, qui ne ſont dans ce cas qu'en terre; 2°. la terre qui les compoſe eſt moins mêlée de ſable, & a par-là plus de tenacité; 3°. le courant a moins de vîteſſe & moins de force. Ainſi, pour toutes ces raiſons, la courbe qui réſulte de la corroſion des berges factices des rivières à fond de ſable & de limon, aura moins de concavité & ſe formera plus lentement, que dans les rivières à fond de gravier.

On a la preuve de ce que nous diſons, dans la comparaiſon des corroſions de la Durance & du Rhône, dans le terroir d'Arles.

265. Tout ce que nous venons de dire au §. III du chapitre précédent, au ſujet de l'effet que produiſent les digues obliques ſur les rivières à fond de gravier, s'applique également aux rivières à fond de ſable & de limon; car on a pu voir que la nature des matières du fond n'y entre pour rien.

Venons à préſent aux cauſes qui occaſionnent des diviſions dans ces rivières.

266. Nous avons déjà vu (261) qu'un lit trop large permettoit aux dépôts de s'arrêter & de former des îles. Ainsi, *la trop grande largeur dans les rivières dont nous parlons, est la première cause de leur division en plusieurs branches.*

Les causes de division sont les mêmes pour ces rivières & pour celles à fond de gravier.

267. Les arbres, arbrisseaux, &c. qui s'arrêtent dans le lit, sont la seconde cause de la division.

La démonstration en est la même que celle que nous avons donné au n. 240; observant néanmoins que ces arbres, arbrisseaux, &c. n'arrêtent ici que des sables & du limon.

268. *Une digue oblique peut aussi opérer la division du courant.*

La démonstration en est la même qu'au n. 241. Cependant nous observerons que ce cas n'est pas commun.

269. *Si, dans les crues, la rivière, franchissant les bords, rencontre un endroit où il y ait plus de pente, elle se divisera.*

On peut voir le raisonnement que nous avons fait à ce sujet, au n. 243.

C'est ainsi, qu'en 1711, la plus grande partie des eaux du Rhône abandonna le lit appellé *bras de fer*, pour se jetter dans le canal des Lônes, comme nous l'avons dit au n. 182.

§. IV.

De l'embouchure des rivières dans la mer.

270. Nous avons déja dit (11) que les rivières charient, à la mer, les terres que les pluies entraînent; que ces matières étoient poussées par les rivières & repoussées par la mer; & qu'enfin elles s'arrêtoient là où il y avoit équilibre entre ces deux forces, pour former des barres ou des îles suivant les circonstances ou les localités. Nous pouvons dire ici, *qu'en général, les barres se forment dans l'Océan & les îles dans la Méditerranée.*

A l'embouchure des rivières il se forme des barres dans l'Océan, & des îles dans la Méditerranée.

Car, 1°. dans l'Océan, la haute marée arrête les eaux de la rivière & les oblige à s'élever jusqu'à la marée descendante;

alors ces eaux, ainſi accumulées, jointes à celles de la mer qui ſe retirent, font, à l'égard des dépôts, les fonctions d'une écluſe de chaſſe, & entraînent les matières étrangères juſqu'à une certaine diſtance dans l'intérieur de la mer, ou, enfin, elles forment des barres toujours ſujettes aux variations du flux & reflux & qui rarement s'élèvent juſqu'à la ſuperficie des eaux.

2°. Dans la Méditerranée, au contraire, comme il n'y a point de marée, ces matières ne pouvant pas être pouſſées comme par une écluſe de chaſſe, s'arrêtent plus près de la côte où elles s'amoncelent, juſqu'à ce qu'elles paroiſſent à la ſurface des eaux : alors elles forment des îles.

L'expérience prouve ce que nous diſons. Qu'on jette les yeux ſur la Seine, la Loire, la Gironde & l'Adour, rarement on y trouvera des îles, mais ſeulement des barres; au lieu que dans le Rhône il ſe manifeſte journellement quelqu'île.

Les îles dans la Méditerranée, prolongent le lit dans la mer & augmentent le Continent.

271. *Les îles qui ſe forment dans la Méditerranée, ſe lient bientôt au Continent & le prolongent dans la mer.* Car les eaux qui ſéparent ces îles de la terre ferme, ſont à l'abri des vagues & des courans, & permettent plus facilement les dépôts.

L'obſervation nous fournit les preuves les plus convaincantes de cette aſſertion. Arles, la plus ancienne ville de cette partie des Gaules, fut bâtie ſur un rocher à l'embouchure même du Rhône; & l'on croit communément que le clocher des Minimes étoit un phare. Ce qu'il y a de bien certain, c'eſt que ce clocher eſt de toute antiquité, & qu'il a réellement la forme d'un phare. Cependant aujourd'hui Arles eſt à environ 22,000 toiſes de l'embouchure du fleuve.

L'hiſtoire nous apprend que Louis IX s'embarqua à Aigues-Mortes, pour l'expédition des Croiſades. Aujourd'hui néanmoins Aigues-Mortes eſt à environ 4000 toiſes loin de la côte.

Nous avons déjà obſervé (11) que depuis 1711, le Rhône a porté ſon embouchure à environ 3000 toiſes au-delà de la tour Saint-Louis.

Cicéron nous apprend, dans ſes lettres, que, de ſon tems, le port de Fréjus, dont on voit encore les reſtes, étoit en exercice. Aujourd'hui cette ville eſt à plus de 500 toiſes loin de la mer par les dépôts de la rivière d'Argens.

272. *L'embouchure des rivières dans la Méditerranée doit y former des plages dangereuſes.*

L'embouchure dans la Méditerranée produit des plages dangereuſes.

Car les dépôts, avant de paroître à la ſurface de l'eau, forment, çà & là, une multitude d'écueils auxquels il eſt très-dangereux de toucher.

Le golfe de Lyon nous en offre un exemple bien remarquable.

273. *A meſure que le lit ſe prolonge, le fond doit s'exhauſſer en amont.* Soient AB (*fig.* 17.) la ſurface de la mer, A l'embouchure d'une rivière, & AC la ligne de fond de ſon lit. Suppoſons que le lit ſe prolonge de A en D, le volume d'eau & la groſſièreté des matières de fond reſtant les mêmes, la pente doit être auſſi la même : car on a vu au §. Ier. du chapitre premier, qu'il n'y avoit pas d'autres élémens que la maſſe, la pente & la groſſièreté des matières, pour déterminer la poſition & les variations du lit. Tirons du point D la ligne DE parallèle à AC, elle ſera le fond du nouveau lit : mais DE eſt ſupérieure à AC ; donc le lit s'exhauſſera.

Lorſque le lit ſe prolonge dans la mer, le fond en amont doit s'exhauſſer. Fig. 17.

274. Il ſuit de-là que *ſi les domaines adjacens ne s'exhauſſent pas à proportion, ils ſe convertiront en marais.*

Dans ce cas, ſi les domaines riverains ne s'exhauſſent pas, ils ſe convertiront en marais.

Car ces domaines éprouveront des filtrations de la part du fleuve dont les eaux ſeront ſupérieures ; d'ailleurs, quand même les filtrations n'auroient pas lieu, les ſeules eaux pluviales les inonderoient. Or, ces eaux ne pourroient pas s'écouler dans le fleuve, à cauſe que ſon lit eſt ſuppoſé trop élevé ; elles ne pourront s'écouler dans la mer, qu'en prenant un dégré de pente d'autant plus grand, que leur volume ſera moindre (177) : donc elles ſeront obligées de s'enfler en amont, & par conſéquent d'inonder le pays.

Les marais augmenteront à proportion que la mer se retirera.

275. *Les marais augmenteront d'autant plus, que la mer s'éloignera davantage.*

Car plus la mer s'éloignera, plus le cours du canal d'évacuation sera long. Donc (273) plus le lit s'exhaussera en amont & plus l'étendue du terrein inondé sera grande.

Les marais de la contrée d'Arles justifient cette assertion. On voit dans la partie de ces marais, qui se trouve dans le terrein des Baux, un ancien édifice appellé le *Monestier*, corruptif de *monastère.* Cet édifice a été certainement construit à sec; aujourd'hui, néanmoins, il est bien-avant dans l'intérieur des marais. Donc les marais se sont accrus depuis que la mer s'est retirée.

Moyen d'empêcher que les domaines riverains ne se convertissent en marais.

276. Il n'y auroit qu'un seul moyen d'empêcher cet effet; ce seroit d'exhausser le terrein à mesure & à proportion de la retraite de la mer. La manière la plus naturelle d'opérer cet exhaussement, seroit d'arroser le pays avec un canal alimenté par des eaux troubles: car, dans ce cas, à chaque irrigation, les eaux déposeroient une couche de limon qui insensiblement élèveroit le sol. Mais, d'un autre côté, les arrosages exigent des égoûts. Dans ces terreins, les canaux, servant d'égoût, auroient peu de pente, & les eaux y prendroient peu de vîtesse; elles déposeroient donc dans ces canaux & les encombreroient continuellement. Ainsi le plus sûr seroit d'évacuer les eaux des marais, sans pente, ou du moins avec la moindre pente possible. C'est ce que nous verrons dans notre traité des canaux d'arrosage.

SECTION IV.

Des Torrens-Rivières.

277. IL nous reste peu de chose à dire sur les torrens-rivières, puisque tout ce que nous venons de dire jusqu'ici sur les torrens & les rivières, s'y appliquent exactement, à la réserve de quelques propositions qui ont besoin d'être modifiées. Mais avant d'exposer ces propositions, ne perdons pas de vue ce que nous avons dit au n. 165, savoir, que c'est par le plus ou moins de régularité des galets, qu'on distingue si le torrent-rivière approche plus ou moins du torrent ou de la rivière.

278. *Le gravier est plus grossier dans ces torrens-rivières que dans la rivière qui le reçoit.*

Le gravier du torrent-rivière est plus grossier que celui de la rivière qui le reçoit.

Car les galets s'atténuent pour s'arrondir; donc puisqu'ils sont arrondis dans la rivière & qu'ils ne le sont pas encore parfaitement dans le torrent-rivière, ils sont plus grossiers dans le torrent-rivière que dans la rivière.

279. *Le volume d'eau du torrent-rivière est moindre que celui de la rivière qui le reçoit.*

Son volume d'eau est moindre que celui de la rivière qui le reçoit.

La forme régulière & arrondie des galets, indique (165) que le cours de la rivière est plus long que celui du torrent-rivière, mais (58) le volume d'eau est comme le pays arrosé, ou comme la longueur du cours; donc le torrent-rivière aura moins d'eau que la rivière dans laquelle il s'évacue.

280. Il suit de ces deux propositions, que *le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.*

Donc le torrent-rivière aura plus de pente que la rivière qui le reçoit.

Car, (176 & 177) la pente sera d'autant plus considérable, que les matières seront plus grossières, & que le volume d'eau sera moindre, or les matières sont plus grossières & le

volume d'eau eſt moindre dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit.

Réflexions ſur les gouffres d'équilibre des torrens-rivières.

Nous avons vu (196) que dans les rivières, l'équilibre exige qu'à des intervalles déterminés il ſe creuſe des gouffres; cette propriété aura lieu dans la rivière qui reçoit le terrent-rivière; elle aura encore lieu aux endroits où le torrent-rivière approchera de la nature de la rivière, à cauſe que dans ces endroits la différence entre ces deux courans n'eſt qu'une nuance qui ne devient bien ſenſible qu'à une certaine diſtance en remontant, c'eſt-à-dire, qu'en ces endroits la durée des eaux d'équilibre y ſera ſenſiblement telle qu'elle eſt requiſe par l'équilibre entre leur force et la réſiſtance du lit (89. 2°.). Mais en s'approchant davantage de la ſource du torrent-rivière, la durée tant des crues que des eaux d'équilibre diminuant ſans ceſſe, (58, 60 & 63.) le lit n'aura pas le tems de ſe mettre en équilibre avec la force des eaux, & les gouffres qu'on y appercevra dépendront bien plus des circonſtances particulières que d'une loi fixe, & cela d'autant plus qu'on s'approchera davantage du torrent générateur. On doit dire la même choſe des autres propriétés des gouffres que nous avons détaillées aux n. 198 & 202.

Réflexions ſur l'exhauſſement & l'abaiſſement de leur lit.

281. L'exhauſſement & l'abaiſſement des torrens-rivières auront lieu dans les mêmes cas que ceux qui regardent les rivières & qui ſont détaillés au Chapitre I de cette partie; mais il y aura cette différence: ſavoir, que les progrès ſeront plus rapides dans l'exhauſſement, & plus lents dans l'abaiſſement du lit des torrens-rivières à meſure qu'on s'approchera davantage de la ſource.

Car, plus on s'approchera de la ſource, plus les crues ſeront courtes, & moins le courant ſera en état d'entraîner les matériaux; donc, dans le premier cas, le gravier s'amoncelera plus rapidement, & dans le ſecond, il ſera entraîné plus difficilement.

182.

282. *Si le lit d'un torrent-rivière eſt trop large, le courant en pourra ſortir pour ſe répandre ſur les domaines riverains qui ont été gagnés à ſes dépens.*

Si le lit eſt trop large, le torrent-rivière pourra l'abandonner.

En effet le lit s'exhauſſant alors rapidement, les domaines riverains deviendront bientôt inférieurs : & puiſqu'en général, lorſque le lit eſt trop large, le courant ſe porte ſur les berges (223), s'il ſurvient quelque obſtacle qui gêne ſon cours, il doit ſortir de ſon lit primitif, & ſe jetter ſur les domaines riverains (105 2°.). Mais la courte durée des crues produit aiſément des dépôts de gravier, & permet ſouvent à des arbuſtes entraînés, & à d'autres matières étrangères, de s'arrêter au milieu du lit, & de gêner le courant. Donc, alors le torrent-rivière doit ſortir de ſon lit pour ſe répandre ſur les domaines adjacens qu'il couvrira de gravier.

C'eſt ce qui eſt prouvé par une infinité d'obſervations.

283. Il réſulte de-là, qu'il y a cette différence remarquable entre les torrens-rivières, & les rivières proprement dites, dont le lit a été rétréci par les domaines riverains : c'eſt que les torrens-rivières peuvent faire des ſorties ſur ces domaines, & même s'y établir bruſquement, en abandonnant leur lit primitif; au lieu que dans les rivières, le lit majeur ne s'exhauſſant pas auſſi rapidement (281), les crues y étant plus longues (63), & le courant reſſerré par la berge contre laquelle il ſe porte (223), ayant aſſez de force pour déblayer le lit mineur, & l'approfondir en corrodant le fond (228 & 232), il n'arrivera rien de pareil; mais ſeulement le lit majeur s'étendra par la corroſion des berges, lorſqu'elles ſeront corroſibles (228), & le courant ne laiſſera jamais rien derrière lui : il faut néanmoins en excepter le cas mentionné au n. 243.

Différence remarquable entre les rivières & les torrens-rivières.

284. Au reſte, les torrens-rivières participant à la nature des torrens & des rivières, & cela plus ou moins, ſelon qu'ils s'approchent ou s'éloignent du torrent générateur, ou du point où ils ſont réellement rivières, leur théorie tiendra plus ou moins

de celle du torrent ou de la rivière, ſuivant les localités : car on ſent bien qu'il y a des nuances à l'infini; par conſéquent, c'eſt à ces diverſes nuances qu'on aura égard dans les travaux qu'on y exécutera.

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Obſervations générales ſur les Confluens.

La ſolution du problême ſur la direction de la réſultante de deux courans qui ſe réuniſſent, eſt inadmiſſible dans la pratique.

285. LORSQUE deux courans ſe joignent pour n'en former qu'un ſeul, ils agiſſent ordinairement l'un ſur l'autre, ſuivant leur force & leur direction. En conſéquence, pluſieurs auteurs reſpectables par leurs connoiſſances, ont propoſé, pour problême, de *déterminer, d'après ces données, la direction de la réſultante des deux courans réunis.* Il eſt certain que la ſolution qu'ils en donnent ſeroit très-exacte & parfaitement conforme au réſultat, ſi les deux courans ſe joignoient ſur un milieu d'une réſiſtance homogène & extrêmement petite, par exemple, ſur la ſurface des eaux de la mer; mais dans l'état naturel, cette réunion des courans ne s'opère pas ainſi. La diverſité des pentes & des matières qui compoſent, ſoit le fond de leurs lits, ſoit les bords au-deſſous du confluent, produiſent des variations à l'infini dans les réſultats. Ainſi, à cet égard, nous ne pouvons dire autre choſe, ſinon que *le courant le plus fort influe plus ou moins ſur le plus foible, ſuivant les circonſtances & les localités.* Dans la pratique, ce ſont ces deux objets qu'il faut conſulter, & même on peut être aſſuré, que dans tous les cas on n'obtiendra que des *à-peu-près.*

286. *En général, le courant le plus fort s'oppose plus ou moins à l'admission du plus foible.*

Le courant le plus fort s'opposera plus ou moins à l'admission du plus foible. Fig. 18.

Soient AB (fig. 18) un filet quelconque du courant le plus fort & CD un semblable filet du courant le plus foible : supposons-les composés, l'un & l'autre, d'une infinité de globules placés à la suite les uns des autres. Pour que le second courant puisse s'incorporer dans le premier, il faut que les globules de CD puissent s'intercaler entre les globules de AB. Or plus le premier courant aura de force, plus il aura de vîtesse & plus les globules de AB seront pressés les uns contre les autres : donc, aussi, plus alors les globules de CD auront de difficulté à s'intercaler parmi les globules de AB ; ce qui est parfaitement conforme à l'expérience.

287. Comme dans l'état naturel il est rare que deux courans qui se réunissent aient l'un & l'autre le même degré de force, il suit, de ce que nous venons de dire, que, dans ce cas, *si le courant le plus foible n'a pas sensiblement plus de pente, il sera obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.*

Le courant le plus foible sera souvent obligé de s'enfler pour entrer dans le plus fort.

Car les eaux supérieures, s'élevant, presseront davantage les eaux inférieures (91) & leur donneront assez d'intensité pour forcer la résistance du courant le plus fort : d'ailleurs ces mêmes eaux, en s'élevant, pourront aussi s'évacuer en partie sur la surface du même courant.

288. *Les eaux du courant le plus foible étant obligées de s'enfler & de s'élever, il arrivera souvent que ce courant se divisera en plusieurs branches.*

Dans ce cas, le courant le plus foible se divisera souvent en plusieurs branches.

Car ces eaux ne peuvent s'enfler sans inonder tout ce qui sera au dessous du niveau de leur superficie ; elles se répandront donc dans leur lit majeur par-tout où le niveau pourra les porter. Or il est presqu'impossible que, dans la largeur du lit majeur, pour peu considérable qu'elle soit, il ne s'y trouve divers endroits plus bas les uns que les autres. Donc (105 2°.)

il se formera, dans ces endroits, des branches particulières ; & c'est ce que l'expérience journalière confirme.

La section de deux courans réunis, est moindre que la somme de leurs sections avant la réunion. Fig. 19.

289. Soient ABC & DEF (fig 19) les sections des deux courans avant leur réunion, & GHK la section commune aux deux courans réunis. Si la vîtesse moyenne étoit la même avant & après la réunion, il est visible que la section GHK seroit égale à la somme des deux autres; mais (101) c'est la résistance du fond qui modifie la force accélérative, & (171) cette résistance est, toutes choses d'ailleurs égales, proportionnelle au pourtour GHK, tandis que le volume d'eau suit la raison de la surface de la section ou du carré du pourtour GHK. Donc, puisque la masse d'eau & par conséquent sa force augmente dans un plus grand rapport que la résistance, la force accélérative (195), après la réunion, sera plus grande & la vîtesse augmentera. Par conséquent la section GHK sera moindre que la somme des deux sections ABC, DEF. Donc *la section de deux courans réunis est moindre que la somme de leurs sections avant la réunion.*

La chose est prouvée par l'expérience: car on voit à chaque pas des courans se jetter dans de plus grands sans augmenter sensiblement les dimensions de leur lit. Cela doit nous faire admirer, toujours de plus en plus, la sagesse de la providence: car si la section d'une rivière devoit constamment être égale à la somme des sections de tous les affluens lorsque, dans les crues, elle seroit arrivée à une certaine distance de la source, peu de plaines seroient à l'abri de ses inondations. Heureusement le Créateur y a obvié en établissant des loix qui augmentent la vîtesse à proportion.

§. II.

Du Confluent de deux Torrens.

Les variations au confluent de deux

290. Lorsqu'un torrent se jettera dans un autre, sur le pen-

chant même de la montagne où ils se forment, le plus fort poussera le plus foible sur le côté opposé, qui pour lors sera corrodé. Mais cette corrosion portant sur le flanc de la montagne, fera peu de progrès, & se bornera à occasioner une légère déviation au-delà de laquelle le torrent récipient reprendra son cours. Ainsi, nous pouvons dire qu'*en général les variations ou confluens de deux torrens sur la montagne où ils se forment, seront peu considérables.*

torrens sur le penchant d'une montagne, seront peu considérables.

291. Mais il n'en est pas de même de la réunion des torrens au bas des montagnes & dans les plaines. Dans ce cas, toutes choses d'ailleurs égales, celui qui a le plus de pente agit sur l'autre, & en détermine la direction (286) : il peut même arriver que les directions étant peu concourantes, le plus fort obstrue le lit du plus foible. Alors, on doit s'attendre aux effets les plus pernicieux ; car (136) les torrens étant assez généralement supérieurs aux plaines adjacentes, il arrivera (134) que le torrent obstrué se jettera sur les domaines riverains (105 2°.), & qu'il les couvrira de gravier.

Les directions des torrens dans les plaines, doivent concourir le plus possible.

D'où l'on doit conclure, qu'en général *on doit donner aux torrens dans les plaines, les directions les plus concourantes possibles.*

§. III.

Du Confluent d'un Torrent & d'une Rivière ou d'un Torrent-Rivière.

292. *Le lit de la rivière sera rétréci par le torrent.*

Le lit de la rivière sera rétréci par le torrent.

Car dans les crues d'orage, le torrent entraînera une quantité de matières d'autant plus considérable que son cours sera plus étendu. Ces matières affluant dans la rivière, formeront, à l'embouchure du torrent, une espèce de digue qui jettera le courant sur le côté opposé. Ce courant ainsi rétréci creusera sur

ce côté (212) & le rendra plus bas que la partie reſtante du lit. Donc (105 2°.) il s'y fixera. Il eſt vrai que ces matières feront déblayées par le courant; mais ce ne ſera qu'en partie, à cauſe que le fort du courant ſera établi du côté oppoſé, comme nous venons de le dire.

Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière. Fig. 5.

293. *Les dépôts d'un torrent peuvent totalement barrer le lit d'une rivière.*

Suppoſons pour cela, qu'au confluent, le lit de la rivière ſoit reſſerré par des montagnes, de manière qu'il n'y ait pas de lit majeur, ou que le torrent ſoit tel que la longueur de ſon cours KC (fig. 5), depuis la chûte K, au bas de la montagne juſqu'à la rivière, ſoit extrêmement courte ou nulle, ce qui aura lieu au commencement de la formation d'un torrent, ou lorſque la montagne ſera entièrement en rocher (130): s'il ſurvient un orage ſur cette montagne excluſivement, les matières, que le torrent chariera, peuvent être aſſez volumineuſes pour barrer totalement le paſſage de la rivière par une eſpèce de jettée; dans ce cas, la rivière formera, en amont, un étang momentané dans lequel ſes eaux s'élèveront juſqu'à ce qu'elles aient atteint la crête de cette jettée. Alors elles s'écouleront d'abord par-deſſus, & enſuite elles la couperont ainſi que nous l'avons dit (116).

Cet effet n'eſt pas rare dans les pays des montagnes. Nous en avons été pluſieurs fois temoins ſur la rivière d'Iſſolle, priſe dans le terrein de Troins, entre Saint-André & Thorame-Baſſe, dans le département des Baſſes-Alpes. En cet endroit, la rivière y eſt aſſez fréquemment barrée par les dépôts d'un torrent connu ſous le nom de *torrent de Pré Chabanat*, qui deſcend de la montagne de *Maurel*, entre la Mure & Argens. Bien des gens ont vu la même choſe arriver ſur le Verdon, près de Thorame-Haute, dans le même département.

Ce qui arrivera lorſque le lit majeur

294. Si, au confluent, le lit majeur de la rivière eſt fort

large, il s'exhauſſera peu-à-peu par les dépôts du torrent qui, pour lors, ſera dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Cet exhauſſement ſera proportionnel au volume des matières que le torrent chariera. Dans ce cas le lit ſera rétréci & la rivière s'établira du côté oppoſé (292).

de la rivière ſera fort large.

On doit remarquer, qu'en pareil cas, un torrent équivaut à une digue; car, en exhauſſant un des côtés du lit, il force la rivière à s'établir du côté oppoſé (105 2°.).

Cet exemple peut s'obſerver à chaque pas, dans les pays de montagnes : on le trouve ſur-tout à l'embouchure des torrens qui ſe jettent dans la rivière d'Aſſe, près de Mezel, dans le département des Baſſes-Alpes.

295. *La pente d'une rivière doit augmenter à l'iſſue du confluent d'un torrent.*

La pente d'une rivière augmentera à l'iſſue du confluent d'un torrent.

Car les matières chariées par un torrent n'ayant pas encore été atténuées par le roulage & les écornemens qui en ſont la ſuite (165) feront plus groſſières que celles de la rivière. Or, à raiſon de la brièveté de la crue du torrent, on ne doit pas compter ſur une augmentation d'eau de ſa part, lors du volume d'équilibre : donc le volume d'eau de la rivière doit être regardé comme conſtant, tandis que la groſſièreté des matières du fond augmente; mais (176 1°.) dans ce cas, la pente augmentera.

296. Si un torrent ſe jette dans un torrent-rivière, les variations réſultantes dépendront du point où le confluent aura lieu. Lorſque ce point ſe trouvera ſur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme torrent, ces variations feront les mêmes que celles dont nous avons parlé au n. 291. Au contraire, lorſque ce point ſera ſur la partie où le torrent-rivière peut être regardé comme rivière proprement dite, elles ſe rapporteront à ce que nous venons de dire (292 & 295). Dans l'eſpace intermédiaire, les variations feront mi-parties & compoſées.

Cas où le torrent ſe jettera dans un torrent-rivière.

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

Si la nature du torrent-rivière approche de celle du torrent, les effets sont les mêmes qu'au confluent du torrent & de la rivière.

297. Nous avons démontré (278) que le gravier est plus grossier dans le torrent-rivière que dans la rivière qui le reçoit, & (280) que le torrent-rivière a plus de pente que la rivière dans laquelle il s'évacue. Or, ces propriétés appartiennent aussi aux torrens (159 & 126): donc tout ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295 au sujet du confluent des torrens & des rivières, s'applique exactement au confluent des rivières & des torrens-rivières. Nous remarquons seulement que le torrent-rivière ayant toujours un certain volume d'eau (60), il arrive assez ordinairement que dans le cas du n. 294, il se divise en plusieurs branches avant d'entrer dans la rivière. Cet effet ne provient point de la cause mentionnée au n. 288, puisque le torrent-rivière ayant plus de pente que la rivière, ses eaux doivent avoir aussi plus de force; mais il résulte de ce que les dépôts s'étendant sous la forme d'un conoïde extrêmement écrasé, les eaux dans les grandes crues n'étant point contenues, se répandront de toutes parts, comme les torrens dans le cas dont nous avons parlé au n. 134. Or, parmi les diverses faces de ce conoïde, il s'en trouve toujours plusieurs qui ont plus de pente que les autres, & qui (105, 2.) attirent le courant, qui alors se divise en plus ou moins de branches, suivant les circonstances.

Observations particulières.

La rivière d'Issolle qui, dans le fait, n'est qu'un torrent-rivière, puisque les *galets* ne sont pas encore parfaitement arrondis à son embouchure: cette rivière, disons-nous, qui se jette dans le Verdon à Saint-André, dans le département des Basses-Alpes, nous en fournit de fréquens exemples.

§. V.

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

198. D'après ce que nous avons dit au paragraphe Ier. de cette ſection, & qui ſe rapporte plus particulièrement au confluent de deux rivières, il ne nous reſte à ce ſujet qu'une obſervation à faire. Cette obſervation conſiſte en ce qu'ici la pente diminue en aval des confluens, au-lieu qu'elle augmente en aval de ceux dont nous venons de parler.

La pente diminue en aval du confluent de deux rivières.

On peut en voir la démonſtration au n. 190.

§. VI.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

199. Nous avons ici quatre cas à examiner, ſavoir :

Le confluent de deux torrens-rivières renferme quatre cas.

1°. Si les deux courans approchent plus de la nature du torrent que de celle de la rivière.

2°. Si les deux courans approchent plus de la nature de la rivière que de celle du torrent.

3°. Si l'un ſe rapproche plus du torrent, & l'autre de la rivière.

4°. Si l'un & l'autre tombent dans l'état intermédiaire.

300. Dans le premier cas on doit regarder les deux courans comme deux vrais torrens dont les loix du confluent ſe rapportent à ce que nous avons dit au n. 291.

Ces cas ſe rapportent à quelqu'un des précédens.

Dans le ſecond cas on doit regarder les deux courans comme de véritables rivières ; & alors on doit appliquer au confluent ce que nous avons dit au paragraphe précédent.

Dans le troiſième cas l'un doit être regardé comme tor-

rent, & l'autre comme rivière ; & l'on doit leur appliquer ce que nous avons dit aux n. 292, 294 & 295.

Dans le quatrième cas enfin, les variations tiendront plus ou moins de celles des trois précédens, ſuivant la nature des courans à leur confluent.

Venons à préſent à la ſeconde partie de cet ouvrage.

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens sur les Montagnes.

301. NOUS avons dit (144) que la destruction des bois qui couvroient les montagnes étoit la première cause de la formation des torrens. Pour détruire l'effet, il faut extirper la cause. Donc, s'il reste encore de la terre végétale sur ces montagnes, le mieux seroit de les laisser se boiser en laissant ces terres en friche, &, à cet effet, d'en écarter tout ce qui pourroit porter atteinte aux arbres naissans. C'est pour cette raison qu'on devroit tenir la main à l'exécution la plus stricte des loix concernant la prohibition des chèvres; car on sait que la dent de cet animal est meurtrière pour les arbres naissans. Il n'est pas moins essentiel de pourvoir à la conservation des bois existans, puisque ces bois, qui ont empêché jusqu'aujourd'hui les torrens de se former, nous sont un sûr garant qu'ils en empêcheront encore la formation à l'avenir.

Empêcher la coupe des bois sur les montagnes.

Mode à suivre pour les défrichemens sur les montagnes.

302. Les défrichemens (145) sont la seconde cause de la formation des torrens : il faut donc, qu'après avoir été trop généralisés par les anciennes loix, ils soient réduits à leurs véritables limites. En conséquence nous croyons, qu'à cet égard, on devroit se conformer à ce qui suit.

1°. Un défrichement ne devroit jamais, sous quelque prétexte que ce fût, être permis sur le penchant d'une montagne qui auroit moins de 3 de base ou d'empattement sur 1 de hauteur verticale.

2°. Le défrichement pourroit être permis sous un plus grand empattement ou une moindre déclivité, mais néanmoins avec des restrictions, d'après le mode que nous allons proposer.

3°. Le défrichement ne devroit être autorisé que par lisières ou bandes transversales & horisontales ou de niveau, ou du moins à peu de chose près.

4°. Dans ce cas les bandes défrichées seroient séparées entr'elles par d'autres bandes pareillement horisontales ou de niveau qu'on laisseroit incultes, & sur lesquelles on permettroit aux bois de croître.

5°. Ces bandes incultes seroient destinées à remplacer les murs de soutenement prescrits par la loi dont nous avons parlé au n. 145. Il paroît qu'elles ne devroient pas avoir moins de 5 toises de largeur pour pouvoir, au besoin, détruire un torrent qui se formeroit sur la bande supérieure défrichée.

6°. La largeur des bandes défrichées pourroit être de 5 toises seulement dans le cas où l'empattement de la montagne seroit de 3 sur 1 de hauteur, & il paroît qu'elle pourroit croître en raison inverse de cet empattement jusqu'à ce qu'on fût arrivé à une pente qui ne laissât plus aucun sujet de craindre la formation des torrens ; auquel cas cette largeur pourroit être illimitée.

7°. Enfin, les défrichemens, dans tous les cas, ne devroient pouvoir s'effectuer qu'avec l'autorisation des autorités munici-

pales respectives, & d'après la vérification & le tracé préalable qui en feroit fait par un officier public, à ce préposé dans chaque commune.

Il n'y a personne qui ne voie que, d'après un pareil réglement, on éviteroit, à l'avenir, tous les désastres produits par les défrichemens arbitraires, & presque toujours fort mal entendus pour le public & le particulier; désastres dont nous avons fait l'énumération aux n. 146 & 151.

303. La nature n'est que plus active lorsqu'elle est aidée par l'industrie humaine. Ainsi, dans le cas où l'on voudroit hâter sur certains penchans de montagnes la multiplication des bois, il ne feroit souvent pas mal d'y semer, soit des glands, soit des faînes de l'espèce d'arbres qu'on présumeroit être propres aux localités. Il y a plus d'un pays où l'on s'est parfaitement bien trouvé de l'usage de ce moyen, qui paroît pourtant extraordinaire aux yeux du vulgaire.

Boiser les montagnes en semant des glands ou des faînes.

304. Il y a des cas où il reste assez peu de terre sur les montagnes pour faire présumer que les bois n'y prendroient que de foibles accroissemens: on pourroit alors, avec succès, gazonner ce terrein, en y semant des graines des plantes qui feroient jugées les plus propres aux localités. Le tissu superficiel que le gazon formera sera un obstacle à la formation des torrens; & d'ailleurs, par ce moyen, on créera des pâturages utiles.

Ou les gazonner.

Ce sont là les moyens de prévenir la formation des torrens sur les montagnes. Il nous reste à voir ceux qu'il faut employer pour détruire, lorsque la chose est possible, les torrens déjà formés.

305. Il paroît que jusqu'à présent il n'y a qu'un seul moyen connu pour détruire les torrens. Ce moyen consiste à les prendre, dès leur origine, & à barrer leur lit d'espace en espace avec des pieux enfoncés en terre, entrelacés d'arbres placés en travers & recouverts de pierres. L'ensemble formera un obstacle qui arrêtera les eaux lors des orages & les forcera à déposer

Manière de détruire un torrent à son origine.

tout ce qu'elles charient. A mesure que le fond s'exhaussera par les dépôts, on exhaussera aussi les ouvrages jusqu'à ce que le lit du torrent soit entièrement comblé. Alors, pour en prévenir une nouvelle formation, il sera très-prudent de complanter cet emplacement en broussaille.

L'usage des murs pour cet objet, est défectueux & trop coûteux.

306. Il y a des gens qui employent des murs au lieu de palissades. Outre que cette méthode est plus coûteuse, elle est beaucoup moins efficace que celle des palissades; car les eaux, en franchissant le mur, forment une cascade qui l'affouille & en entraîne la ruine. Cette cascade est bien moindre avec des palissades, à cause que les eaux passent à travers. D'ailleurs elle ne produit aucun effet dangereux, lorsqu'on a soin de placer une partie des branches des arbres extérieurement & du côté d'aval pour recevoir le choc des eaux dans leur chûte & en amortir la violence.

Cas où il est impossible de détruire un torrent.

307. Ce moyen réussit à souhait dans tous les torrens naissans, & qui n'ont pas encore creusé bien profondément leur lit: l'expérience nous en garantit le succès. Mais il n'en est pas de même lorsque les torrens ont pris des accroissemens considérables, & qu'ils ont creusé de profonds vallons : dans ce cas, on doit regarder leur destruction comme impossible; ce qui prouve combien il est nécessaire de s'opposer au mal dès son principe.

308. Il y a encore deux cas où la même impossibilité se rencontre. Le premier est celui où il ne reste plus que le rocher nud sur les montagnes, & le second celui où le torrent est produit par une fondrière.

Dans le premier cas, quand même on forceroit les eaux à combler le lit par les pierres qu'elles charient (120), ce qui ne donneroit aucun bénéfice & ne pourroit s'effectuer qu'à grands frais, ne restant plus de terre végétale sur la montagne & conséquemment ne pouvant pas se couvrir d'ar-

bres, rien ne peut intercepter les eaux pluviales qui pour lors se frayeroient une autre route.

Dans le second cas, ces torrens doivent originairement leur formation aux avalanches & aux éboulemens (13 & 14), & ces causes ne peuvent être mises que dans la classe des causes supérieures, auxquelles rien ne peut résister. Or, quand même on feroit des ouvrages sur le lit de ces torrens, il est bien visible que le premier éboulement les emporteroit.

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

Trois cas à examiner dans les torrens au bas des montagnes.

309. Nous avons déja dit (136) qu'il falloit nécessairement conduire le lit d'un torrent jusqu'à la rivière la plus voisine, & (139) que la chose devoit avoir lieu par la voie la plus courte. Nous avons pareillement vu (136 & 137) de quelle manière on devoit déterminer la pente du lit, depuis la montagne jusqu'à l'embouchure. Nous ne reviendrons donc pas sur ces objets. Celui dont il nous reste à nous occuper, est d'assigner les moyens les plus simples & les plus solides de contenir les eaux dans leur lit, & de les empêcher de s'extravaser sur les domaines riverains. Or nous avons dit (133) qu'il y a trois cas, savoir : 1°. Celui où le torrent s'établiroit en pleine terre. 2°. Celui où il couleroit superficiellement ; & 3°. enfin, celui où il s'établiroit sur un remblai. Nous allons donc examiner successivement les moyens relatifs à chacun de ces cas.

Le torrent se réduit de lui même dans le cas où son lit est en pleine terre.

310. Lorsque la pente du terrein intermédiaire à la montagne & à la rivière, est telle que le torrent est obligé d'y creuser son lit en pleine terre, on n'a pas besoin de faire

des ouvrages pour en contenir les eaux, puisqu'elles se trouvent alors resserrées dans le canal que le torrent s'est lui-même pratiqué. C'est le cas le plus avantageux ; & il seroit à desirer, pour le bien de la société, que tous les torrens pussent être conduits aux rivières voisines par de pareils moyens.

Moyen de le réduire dans le cas où sa pente est la même que celle du terrein.

311. Dans le cas où la pente du terrein seroit la même que celle que doit avoir le lit du torrent, les eaux couleront sur la superficie, & elles pourront s'extravaser pendant les crues ; alors on aura besoin de construire des ouvrages pour les contenir. Il en sera de même lorsque le terrein aura moins de pente, & que le torrent devra être conduit à la rivière par un remblai (134). Ainsi, ces deux cas considérés sous le rapport des ouvrages destinés à contenir les eaux, s'identifient ; par conséquent, les moyens que nous allons prescrire s'appliqueront également à l'un & à l'autre, lorsque dans le troisième cas le remblai sera parvenu à la ligne de pente (137). Voyons d'abord le moyen de forcer le torrent à former le remblai de la chaussée sur laquelle il doit établir son lit.

Moyen de le réduire dans le cas où il doit être conduit sur une chaussée.
Fig. 20.

312. Soit le torrent AB (fig. 20) qui descend des montagnes C, D, E, & qu'il s'agit de conduire à la rivière GHPQ à travers la plaine ZIHG en suivant la direction BF. On fera d'abord le nivellement détaillé de la ligne BF pour en avoir le profil. Aux points B, R, S, T, élevons des perpendiculaires à BF. Du point I tirons la ligne de niveau IO; traçons le profil IKLMN de BF, & fixons la ligne IN du fond du lit projetté (137). Les lignes KV, LX, MY seront les hauteurs respectives du remblai aux points correspondans R, S, T, de BF.

Menons de l'autre côté de BF la ligne ZJ parallèle à IO. Faisons *ef*, *im* & *or* égales respectivement aux lignes KV, LX & MY. Par les points *e*, *i* & *o* tirons les lignes *ab*, *gh*, *np*, égales entr'elles & à la largeur projettée du lit, augmentée de l'espace

nécessaire

néceſſaire à la conſtruction des ouvrages deſtinés à contenir les eaux. Prenons enſuite $fc = fd = \frac{1}{2} ab + 2ef$; $mk = ml = \frac{1}{2} ab$ ou $\frac{1}{2} gh + 2im$; $rq = \frac{1}{2} np$ ou $\frac{1}{2} ab + 2ro$, & tirons les lignes bc, ad, hk, gl, pq, ns. On aura $abcd$, $ghkl$, $npqs$, qui feront les coupes ou profils tranſverſaux du remblai aux points K, S, T correſpondans.

Portons eb de B en t & en u; fc de R en c' & en d', mk de S en k' & en i'; rq de T en q' & en s', & eb de F en x & en y. Tirons les lignes $t'c'$, $c'k'$, $k'q'q'x$ d'une part, & $u'd'$, $d'i'$, $i's'$ & $s'y$ de l'autre.

L'eſpace $tc'k'q'xys'i'd'u$ compris entre toutes ces lignes, ſera celui qu'occupera l'empattement du remblai deſtiné à ſervir de lit au torrent.

On doit avoir remarqué qu'en prenant $fc = \frac{1}{2} ab + 2ef$ nous avons fait les talus des coupes doubles de la hauteur. La choſe devient indiſpenſable pour donner une aſſiette ſolide aux ouvrages, & pour pouvoir complanter ces talus en brouſſailles qui les fortifient.

Ces opérations préliminaires faites, on conſtruira une paliſſade en clayonnage de quelques pieds de hauteur de chaque côté de BF ſur les lignes $tc'k'q'x$ & $ud'i's'y$. On creuſera pareillement un foſſé d'évacuation ſur la ligne BF; & on laiſſera au torrent le ſoin de former ſon remblai par les dépôts qu'il chariera à chaque crue.

A meſure que ces dépôts parviendront à la hauteur des paliſſades, on en conſtruira d'autres ſur les dépôts mêmes, ayant ſoin, pour donner le talus projetté, de s'avancer à chaque fois vers BF du double de la hauteur de la paliſſade précédente.

C'eſt par ce moyen qu'on parviendra à forcer le torrent à combler le vuide IKLMNYXV & à établir ſon lit ſuivant la pente de la ligne IVXYN. Avant de traiter des moyens de l'y

contenir, nous allons dire un mot ſur la largeur à lui donner & la manière de la fixer.

313. Nous avons vu (142) que le remblai ſera d'autant moins élevé que le lit du torrent ſera plus reſſerré. D'où il ſuit que, pour économiſer & accélérer en même tems le remblai, il faut réduire la largeur autant qu'il ſera poſſible. Mais nous avons vu auſſi (132) que c'étoit la pente dans la partie KC' (fig. 6) qui détermine celle ſur la partie C'C : par conſéquent, pour ne rien donner au haſard, on doit d'abord s'aſſurer, par des rétréciſſemens d'expérience qu'on fera ſur la partie KC', de la moindre largeur à donner & de la pente que le lit y prendra. Par ce moyen on connoîtra la pente & la largeur à donner au lit projetté ſur la partie C'C.

Quant à la largeur à ménager de chaque côté du lit ſur le couronnement du remblai, pour l'emplacement des ouvrages deſtinés à contenir les eaux, nous penſons qu'on ne peut pas le fixer au deſſous de 4 pieds.

On peut employer des paliſſades avec des buiſſons pour contenir le torrent.

314. Lorſque la largeur du lit eſt fixée, le moyen le plus ſimple d'y contenir les eaux eſt de le border, de chaque côté, d'une paliſſade entrelacée de buiſſons. L'expérience prouve que les buiſſons, ainſi employés, produiſent le meilleur effet. Mais comme ces ſortes d'ouvrages ne durent qu'un certain tems, il eſt très-prudent de les accompagner de plantations de toutes ſortes de brouſſailles & ſur-tout d'aubépine : cette eſpèce eſt reconnue la meilleure pour ces ſortes d'objets.

Emploi des murailles pour le même objet.

315. Dans certains endroits au lieu de paliſſades & de haies vives en brouſſailles, on emploie des murailles. Il faut convenir que, ſi ce moyen n'eſt pas le plus économique, il eſt du moins le plus ſûr ; mais il a beſoin d'être employé avec précaution ; car, comme dans certains cas, le torrent creuſe ſon lit, il eſt poſſible qu'il affouille les ouvrages, à moins qu'ils ne ſoient établis bien profondément. Auſſi, lorſqu'on emploie des murs, pour cet objet, on doit donner au lit une largeur aſſez conſidé-

rable pour que l'abaissement du fond n'y ait jamais des suites fâcheuses. C'est ce qu'on a fait aux torrens de Mezel qui s'évacuent dans la rivière d'Asse, dans le département des Basses-Alpes.

Usage des radiers lorsqu'on emploie des murailles.

316. On pourroit aussi, dans le même cas, ne donner que la moindre largeur possible (213), & employer des radiers par intervalles, pour garantir les murs des affouillemens. Mais nous ne devons pas nous dissimuler que ce moyen a aussi ses inconvéniens; car, si à la suite d'une longue & forte crue, le fond par le moyen de la corrosion doit s'établir au-dessous du couronnement du radier, il y aura une cascade (213) qui le dégradera en l'affouillant. C'est ce qui est arrivé à Castellanne, dans le département des Basses-Alpes, où l'on avoit fait usage de ce moyen sur le torrent de la Cébière.

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

317. NOUS diviserons cette section en deux chapitres.

Dans le premier nous traiterons des digues;

Dans le second nous les appliquerons aux torrens-rivières & aux rivières.

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues considérées par rapport à leur direction.

Quel est l'objet des digues.

318. L'OBJET des digues est de garantir les berges de la corrosion. Jusqu'à présent on n'a guères employé, pour cet objet, que des digues obliques ou parallèles à la direction du courant. Mais les unes & les autres entraînent après elles divers inconvéniens que nous allons successivement faire connoître. Commençons par l'examen des digues obliques.

Inconvéniens des digues obliques à la direction du courant.

Fig. 21.

319. Soit ABCD (fig. 21) le lit majeur de la rivière EFGH, qui tend à se porter, suivant sa première direction, sur la partie KB de la berge AB, & à s'établir sur le prolongement de son cours FMBNG. Supposons que, d'après l'usage reçu en pareilles circonstances, pour l'en détourner, on construise la digue KL oblique à la direction du courant, il en résultera les inconvéniens suivans :

1°. Nous avons déjà vu (232 & 234) que le courant s'établira à son pied, & qu'il l'affouillera. Par conséquent, si la digue n'est pas profondément fondée, elle s'écroulera. Or, cela n'arriveroit pas, si elle n'étoit pas affouillée : donc une pareille direction provoque la ruine des ouvrages.

2°. Si le courant, après avoir parcouru la longueur de la digue KL, continue à se mouvoir sur cette direction, il se portera sur la berge DC & la corrodera. Qu'on entreprenne de la mettre à couvert par une autre digue oblique PQ, cette

digue portera, par la même raiſon, le courant ſur la partie inférieure de la berge AB, & ainſi de ſuite; de ſorte qu'on ne pourra garantir un côté qu'aux dépens de l'autre, & en briſant continuellement la direction du courant. Or, l'objet d'une digue doit être de détruire un mal ſans en produire d'autre: donc la digue oblique ne peut pas remplir cet objet.

3°. On ne conſtruit la digue KL, que parce que la partie KLB du lit majeur eſt plus baſſe que la partie reſtante, & qu'à raiſon de cela (105 2°.), la rivière tend à s'y établir : ſon objet eſt donc d'en détourner le courant. Or, nous avons vu (237) que les matériaux enlevés par l'affouillement le long de la digue, venant à s'arrêter vers RS, forment un obſtacle qui ſouvent détermine le courant à ſe porter par la route TVNS, ſur la partie poſtérieure de la digue qui eſt toujours la plus baſſe : donc la digue oblique ne remplit pas ſon premier objet.

4°. Enfin, le premier but qu'on doit ſe propoſer en conſtruiſant une digue, eſt d'éloigner le courant, & pour cela, de forcer la rivière à dépoſer & à produire des atterriſſemens qui exhauſſent le côté d'où on veut l'éloigner & le rendent plus haut que le reſte du lit: car alors (105 2°.) le courant ſera forcé de ſe retirer, & l'on extirpe le mal dans ſa racine. Or, (234 & 235) la digue oblique, loin de produire des atterriſſemens, produit au contraire des affouillemens; de ſorte que cette partie du lit qui étoit déjà plus baſſe que la partie reſtante, s'approfondit encore davantage par la corroſion; donc la digue oblique produit un effet diamétralement oppoſé à celui qu'on devroit avoir en vue & qu'on eſt cenſé ſe propoſer.

Tous ces inconvéniens ſont amplement prouvés par l'expérience. Les digues conſtruites ſuivant cette direction ſur la Durance, nous en offrent des exemples ſans nombre.

320. On voit, par cette énumération, que les digues obliques à la direction du courant, ſont vicieuſes ſous tous les rapports; qu'elles ne produiſent jamais l'effet qu'on ſe propoſe,

& qu'elles en produisent toujours un contraire à celui qu'on auroit dû avoir en vue; par conséquent, elles doivent être proscrites, lorsqu'il s'agira de mettre à couvert du courant, une berge ou un quartier riverain.

Les digues obliques sont essentielles pour établir des prises d'eau de canaux. Fig. 21.

321. Cependant, la propriété qu'ont ces digues d'attirer le courant & de l'obliger à les affouiller & à s'établir à leur base (232 & 234) nous offre un avantage bien précieux quoique peu connu jusqu'aujourd'hui. Cet avantage consiste à pouvoir établir, sur les rivières à fond de gravier, des prises d'eau pour des canaux, de manière que les eaux n'y manquent jamais, & que le gravier, pendant les crues, n'y puisse pas entrer; & il est d'autant plus précieux, que ces rivières, ayant le plus de pente, sont les plus propres à la dérivation, soit pour l'arrosage, soit pour la navigation.

En effet supposons la digue KL construite en blocaille & en pierre sèche, il est visible que les matériaux laisseront dans leurs joints beaucoup de vuides & d'interstices; que derrière la partie A'B', le long de laquelle le courant est parfaitement établi, on creuse le canal A'D'C'B, d'abord évasé en A'B' & ensuite réduit à sa véritable largeur C'D'; qu'on établisse le plat-fond à la profondeur convenable au-dessous de la superficie des plus basses eaux de la rivière; qu'on pave en dalles ce plat-fond, & qu'on fortifie, par un perré, les talus intérieurs sur l'espace A'D'C'B', pour éviter l'effet des affouillemens & les dégradations; enfin, qu'on barre le canal en C'D' par un massif supérieur aux plus hautes eaux des crues, & percé de portes à vannes, qu'on fermera, à quelques pouces près, dans les hautes eaux, on sent, au premier abord, que les eaux de la rivière trouvant un endroit inférieur à leur superficie, s'y précipiteront par les vuides des joints des pierres, & de-là alimenteront le canal; on sent aussi que jamais les eaux n'y manqueront, puisque la digue attire le courant (232 & 234); on sent, enfin, que dans les crues le gravier ne pourra pas entrer

dans le canal, puisqu'il est poussé dans le sens du courant, & que les eaux n'entrent dans le canal que par épanchement latéral & à travers les joints.

Au surplus, cet objet a besoin de plus grands développemens: nous y reviendrons dans le traité des canaux d'arrosage, que nous publierons bientôt. En attendant, il nous suffit de dire que c'est d'après ces principes que nous avons fait exécuter, il y a environ dix ans, le canal de Château-Renard, dans le département des Bouches-du-Rhône, canal qui est dérivé de la Durance, & dont la prise d'eau a été établie dans la digue de Noves.

Insuffisance & inconvéniens des digues parallèles à la direction du courant.

322. Venons à présent aux digues parallèles à la direction du courant. L'unique objet de ces digues est de fortifier les bords & de les mettre à l'abri de la corrosion; par conséquent elles ne peuvent remplir leur objet que par leur continuité, ce qui deviendroit énormément coûteux, si l'on vouloit les employer à réduire une rivière dans une partie considérable de son cours. D'ailleurs nous avons vu (238) que lorsqu'elles sont employées sur des rivières dont le lit est trop large, elles attirent le courant de la même manière que les digues obliques; par conséquent ces sortes de digues sont d'un usage très-circonscrit, & ne sauroient être employées d'après les principes reçus, à la réduction du lit des rivières qui est l'objet principal que nous avons en vue.

Les digues perpendiculaires à la direction du courant, sont les seules qu'on puisse employer pour garantir les bords des rivières.

323. Puis donc qu'on ne peut se servir ni de digues obliques ni de digues parallèles à la direction du courant, il ne nous reste plus que les digues perpendiculaires. Voyons si cette direction peut remplir nos vues.

Nous avons déjà dit (319 4°.) que l'objet d'une digue devoit être d'éloigner le courant. Comme (105 2°.) les eaux se portent constamment vers l'endroit le plus bas, il s'ensuit que celui où l'on veut construire la digue, est censé plus bas que le reste du lit; car, s'il étoit plus haut, par le principe que nous venons

d'indiquer (105 2°.), le courant s'en éloigneroit de lui-même, ſans avoir beſoin d'ouvrages de main d'homme. Donc, puiſqu'il ne ſuffit pas de pallier le mal, & qu'au contraire, il faut le détruire en extirpant la cauſe qui le produit; il faut, d'après le même principe, faire en ſorte que l'endroit dont il s'agit devienne le plus haut; car alors il eſt viſible que le courant s'en éloignera de lui-même.

Faut-il, en conſéquence, que l'homme encombre cet endroit, comme il encombre, par des matériaux de tranſport, les inégalités d'une route? Non; la nature, toujours ſage & prévoyante dans ſes opérations, a conſtamment placé le remède à côté du mal. En effet, ſi la rivière, par ſes corroſions ſur le fond, a rendu cet endroit plus bas que les autres, elle charie auſſi dans les crues beaucoup de matières étrangères, qui peuvent réparer ſes déſordres en s'arrêtant à l'endroit corrodé. Par conſéquent, la queſtion ſe réduit à forcer la rivière à réparer elle-même le mal qu'elle a produit par ſes corroſions, en l'obligeant à exhauſſer, par des dépôts, les endroits corrodés, & à les rendre plus hauts que le reſte du lit.

Ce n'eſt pas tout, nous avons vu (1re. Partie, Section III, Chapitre I & §. I, & Chapitre II, §. I.) que la groſſièreté des matières que la rivière charie eſt proportionnelle à leur force. La choſe d'ailleurs eſt aſſez ſenſible par elle-même, car il eſt clair que, plus le courant aura de force, plus l'effet qu'il produira à cet égard ſera conſidérable; or, dans ce cas, l'effet n'eſt que le tranſport des matières plus ou moins peſantes, plus ou moins groſſières; d'où il ſuit que les dépôts ſeront plus ou moins groſſiers, ſelon que la rivière aura plus ou moins de force à l'endroit où ils ſe formeront. Ces dépôts d'exhauſſement peuvent donc être en gravier, ou en ſable ou en limon; mais il ne ſuffit pas de gagner du terrein ſur le lit d'une rivière, il faut encore que ce terrein ſoit utile & pro-

fitable

fitable à l'agriculture, & que sous le moindre espace de tems, on puisse le cultiver & le rendre productif.

D'après cela il est évident que si un terrein formé par les dépôts n'étoit que gravier ou sable, il seroit stérile par lui-même ; qu'il ne pourroit être rendu à l'agriculture que lorsqu'il se seroit couvert d'une couche de terre végétale, & que la chose ne pourroit avoir lieu qu'après un laps de tems plus ou moins long, selon les circonstances. Au contraire, si les dépôts n'étoient qu'en limon, ils pourroient immédiatement après la retraite de la rivière, être exploités & mis en produit, d'autant mieux qu'ils sont assez généralement composés de la partie la plus grasse des terres. Par conséquent, il est visible qu'il est essentiel, pour le bien de l'agriculture, que les dépôts d'exhaussemens ne soient composés que de limon & non de sable ni de gravier. D'où il suit que, d'après ce que nous avons dit ci-dessus, la force du courant doit devenir la moindre possible : car, sans cela, les dépôts seroient plus grossiers.

L'on voit par-là que la question se réduit à détruire la force du courant le plus exactement possible, sur l'endroit à exhausser, ou ce qui est la même chose, à y rendre les eaux mortes & stagnantes, du moins à peu de chose près ; or, cette destruction ne peut s'opérer que par le moyen des digues. Les digues parallèles au courant ne peuvent pas l'effectuer, puisqu'à raison du parallélisme, il ne doit pas y avoir de résistance opposée. Nous avons vu que les digues obliques attiroient le courant, & que loin de détruire sa force, elles lui donnoient une nouvelle énergie. Il n'y a donc que les digues perpendiculaires qui, par leur direction, puissent détruire radicalement & sans décomposition, l'intensité du courant, & en rendre les eaux mortes & stagnantes.

Donc *il n'y a que les digues perpendiculaires à la direction du courant qui puissent extirper la force du mal.*

La digue perpendiculaire produira des dépôts en amont. Fig. 22.

324. Soit donc la rivière KLMN (fig. 22) qui se porte vers BC pour corroder la partie inférieure de la berge DC. Si l'on construit la digue AB parallèle à la berge & au lit général, elle garantira la berge sur toute la partie correspondante. Mais, d'une part, elle ne peut la mettre à couvert en entier, sans être prolongée sur toute sa longueur, ce qui entraîneroit des dépenses énormes; & de l'autre, elle ne détruira pas la cause première qui attire le courant, & qui consiste en ce que la partie du lit du côté de CD est plus basse que du côté de GH.

Si on remplace cette digue par la digue oblique AE, elle forcera le courant à s'établir à sa base, & ensuite elle le portera sur la berge opposée; plus souvent même le courant la contournera pour se porter sur la partie BC vers laquelle se trouve, par hypothèse, la plus forte pente; mais dans tous les cas, la cause du mal subsistera toujours; car il n'y aura point de dépôt & par conséquent aucun exhaussement du côté de la berge DC.

Enfin, qu'on substitue à ces deux digues, la digue perpendiculaire AF. Étant directement opposée à l'action du courant, la force des eaux sera totalement détruite. N'y ayant point de pente dans le sens transversal AF, la rivière se détournera à une certaine hauteur N, pour prendre sa route par la tête de la digue & s'établir sur NOPQ. Les eaux seront donc stagnantes au-devant de la digue AF, jusqu'à une certaine hauteur K en amont. Donc il se formera des dépôts sur toute la partie en amont de AF. Donc cette partie sera exhaussée & la cause du mal sera détruite.

Elle produira aussi des dépôts en aval. Fig. 22.

325. Mais ce n'est pas seulement sur le devant ou en amont, que la digue perpendiculaire occasionnera des dépôts; elle en produira encore sur le derrière ou en aval. En effet, il est aisé de sentir que dans une crue, les eaux seront supérieures à la superficie du gravier du lit majeur, & qu'en aval du point F elles s'extravaseront suivant leur niveau & se répandront sur toute la partie FACQ postérieure de la digue. Or ces eaux ne sont plus poussées

par les eaux correfpondantes en amont de AF à caufe de l'interpofition de la digue qui rompt toute continuité. Elles n'auront donc que la vîteffe qu'elles acquerreront par la pente de cette partie du lit, vîteffe qu'on fent bien devoir être, fous tous les rapports, incomparablement moindre que celle du courant principal. D'un autre côté, obligées de rentrer enfin dans le courant, elles en éprouveront la même réfiftance qu'éprouve (286) un courant foible, quand il fe préfente pour entrer dans un plus fort; c'eft-à-dire qu'elles feront obligées de s'enfler, & par-là même de perdre le peu de vîteffe qu'elles auroient pu avoir acquife.

Ainfi la vîteffe des eaux extravafées en aval de la digue AF, fera très-petite. Or les eaux dépofent d'autant plus qu'elles ont moins de vîteffe. Donc elles dépoferont auffi fur le derrière ou en aval de la digue perpendiculaire AF.

326. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que les digues perpendiculaires ont la propriété d'obliger le courant à dépofer en amont & en aval & à exhauffer les endroits les plus bas par des dépôts de limon & non de gravier, dépôts qui peuvent être tout de fuite rendus à l'agriculture, ce que n'opèrent pas les digues obliques, ni les digues parallèles. Les digues perpendiculaires font donc les feules qui puiffent détruire la caufe qui porte un courant vers un endroit déterminé, en rendant cet endroit plus élevé que le refte du lit.

Au refte, nous ne hafardons rien : car tout cela eft pleinement confirmé par des expériences directes, que nous avons faites à ce fujet fur la Durance.

Erreur des anciens au fujet de l'angle d'obliquité des digues.

327. L'ufage confacré par le tems, vouloit que le *maximum* de l'angle BAE, formé par la direction générale du lit & par celle d'une digue, n'excédât jamais 45 degrés ou la moitié du quart de cercle. Il feroit difficile, pour ne pas dire impoffible, de donner la raifon d'un pareil règlement : on ne pouvoit en cela avoir que deux objets en vue; favoir : 1°. d'éloigner le

courant de l'endroit qu'on vouloit mettre à couvert ; 2°. de nuire le moins possible à la berge opposée. Or, l'un & l'autre de ces deux objets auroient été beaucoup mieux remplis sous un angle au-dessus qu'au-dessous de 45 degrés. En effet :

1°. Soit SR la force du courant : abaissons la perpendiculaire ST, elle exprimera la force détruite, & TR la force résidue. Pour éloigner le courant de cet endroit, il faut occasionner des dépôts, & conséquemment augmenter la force détruite ST. Or, ST ne peut augmenter que par l'augmentation de l'angle SRT = EAB, & elle diminuera lorsque cet angle deviendra plus petit : donc on auroit eu plus de dépôts, & conséquemment on auroit mieux réussi à éloigner le courant par un angle EAB au-dessus de 45 degrés, que par le même angle au-dessous.

2°. Plus l'angle SRT = EAB sera petit, plus la force résidue TR & la pente dans le sens de AE seront grandes : par conséquent, la rivière aura bien plus d'énergie pour se diriger suivant AE, & nuire à la berge opposée. Au contraire, plus l'angle SRT sera grand, plus la force résidue TR, & la pente suivant AE diminueront. Donc, alors le courant aura d'autant moins d'énergie pour établir son cours suivant la direction de AE, & arrivé à l'issue de la digue en E, trouvant plus de pente dans le sens EV du lit général que dans le sens EX du prolongement de la digue, il se dirigera plutôt suivant EV que suivant EX : donc l'angle au-dessus de 45 degrés seroit moins préjudiciable à la berge opposée que l'angle au-dessous.

Conséquences que l'on doit en tirer. Fig. 21.

328. De ce que nous venons de dire, on doit conclure que lorsque les digues obliques approchent de la direction perpendiculaire, elles peuvent aussi produire des dépôts, car, dans ce cas, la partie détruite ST de la force du courant, augmente continuellement, tandis que la force résidue TR diminue toujours plus ; donc, lorsque la force détruite sera telle que la force restante ne suffira plus au transport des ma-

tières, les dépôts commenceront. Mais il y a ceci à obſerver : c'eſt qu'alors les dépôts ſeront en gravier ou en ſable ; car, ils ne ſeront en limon, que lorſque la force reſtante ſera nulle. Ce qui eſt conforme à l'expérience.

Revenons aux digues perpendiculaires.

319. Lorſqu'il s'agit d'employer ces digues pour réduire une rivière dont le lit majeur eſt fort large, il ſe rencontre ſouvent des cas où leur longueur ſeroit des plus conſidérables, & où conſéquemment elles entraîneroient dans des dépenſes énormes. Il s'agit donc de voir s'il ne ſeroit pas poſſible d'en rendre la conſtruction plus aiſée & plus économique.

On doit conſtruire un éperon à la tête de la digue perpendiculaire, pour la mettre à couvert.
Fig. 23.

Soit pour cela ABCD (fig. 23) le lit majeur d'une rivière à réduire, ſoit pareillement la digue perpendiculaire EF ; à ſon extrémité conſtruiſons un éperon GH qui lui ſoit auſſi perpendiculaire ou qui ſoit parallèle à la direction du courant, & diſpoſons-le de façon que la plus grande partie FG ſoit du côté d'amont ; s'il ſurvient une crue, l'eſpace EFGK ſera occupé par des eaux mortes, puiſqu'elles n'auront point d'iſſue. Suppoſons qu'une branche quelconque LMNO ſe porte ſur la digue perpendiculaire EF ; imaginons la maſſe d'eau ſtagnante EFGK diviſée en une infinité de tranches verticales 1, 2, 3, 4, 5, &c. Toutes ces tranches ne pourront être refoulées par le courant ſans détruire une partie de ſa vîteſſe & de ſa force. La tranche 1 lui en fera donc perdre un degré, la tranche 2 lui en détruira un ſecond, & ainſi de ſuite ; de ſorte que le courant n'arrivera pas juſqu'à la digue EF, ſi le nombre de tranches eſt aſſez conſidérable, & comme (97) la réſiſtance ſe fait ſentir de proche en proche en amont juſqu'à une aſſez grande diſtance ; que (105. 3°.) le courant ſe porte toujours vers l'endroit où il trouve moins de réſiſtance, & qu'il eſt viſible qu'il en trouve moins entre l'éperon GH & la berge DC, que dans la partie correſpondante à la digue EF ; à une certaine hauteur la branche LMNO ſe détournera,

& prendra la position PQRS en passant le long de l'éperon GH ; dans ce cas les eaux qui occuperont l'espace APFE ne seront que des eaux épanchées latéralement, & qui feront les fonctions de berge pour soutenir le courant dans sa nouvelle position PQRS.

La chose est constatée par l'expérience de pareilles digues que nous avons fait exécuter sur la Durance.

L'éperon empêchera le courant d'atteindre la digue perpendiculaire. Fig. 23.

330. Pour mieux se convaincre de la vérité de notre assertion, supposons qu'un filet quelconque LO de la branche LMNO parvienne jusqu'à la digue EF, & la choque au point T. Ce filet ne pouvant pas continuer sa route par l'interposition de la digue EF, ni s'échapper du côté de la berge AE dont la hauteur est supposée supérieure à la surface des eaux, sera nécessairement forcé de s'échapper vers PG, en passant à la tête G de l'éperon. Mais la pente, suivant la ligne droite LG, est plus grande que suivant la ligne brisée LTG. Donc (105 2°.) le filet LO suivra plutôt la direction LG que LTG : ainsi l'expérience & les loix de la nature sont d'accord sur cet objet.

Autre manière d'envisager la chose. Fig. 23.

331. On peut envisager, sous un autre point de vue, ce que nous avons dit au n. 329 au sujet de la résistance opposée par les diverses tranches 1, 2, 3, &c. Servons nous, pour cela, d'une comparaison : nous voyons tous les jours les plus grandes forces détruites par des résistances qui cèdent peu-à-peu. Un boulet de canon, par exemple, est amorti par la résistance d'un ballot de laine. Dans ce cas, les divers filamens cèdent en résistant & détruisent, à chaque instant, une partie de la force du boulet, jusqu'à ce que la somme de ces destructions partielles soit égale à la force totale primitive ; or les lames d'eau 1, 2, 3, &c. produisent le même effet sur le courant LMNO. Donc elles doivent aussi détruire sa force par degrés.

Nous pouvons donc dire que la masse d'eaux mortes & dormantes EFGK est une digue d'eau que le courant doit forcer

avant de parvenir à la digue EF, & qui eſt deſtinée à mettre à couvert EF par ſa réaction contre l'action du courant.

L'éperon occaſionne une maſſe d'eaux ſtagnantes au-devant de la digue. Fig. 23.

332. On doit ſentir à préſent quel eſt l'objet de l'éperon GH & pourquoi il va au-devant du courant. C'eſt cet éperon qui, comme on voit, eſt la cauſe première de la maſſe d'eau ſtagnante qui met la digue EF à couvert de l'action du courant. Quelque ſoit la longueur de EF, l'effet produit par l'éperon n'en ſera pas moins le même. Il ſe formera conſtamment une digue d'eau EFGK au-devant de EF qui détruira la force du courant & l'empêchera de parvenir juſqu'aux ouvrages. Or, non-ſeulement EF ne ſera point dégradée par le courant, mais encore elle ſera fortifiée par les dépôts qui ſe formeront au-devant par la digue d'eau. Ainſi on doit regarder l'éperon GH comme la partie eſſentielle des ouvrages. En conſéquence il convient de l'envisager ſous tous ſes rapports; mais auparavant nous allons déduire, de ce que nous avons dit, une conſéquence infiniment eſſentielle dans la pratique & qui entraîne après elle la plus grande économie.

Donc il ſuffira que la digue ne ſoit qu'une ſimple chauſſée en terre ou en gravier. Fig. 23.

333. Puiſque par le moyen de l'éperon GH il n'y aura aucun choc ſur EF, & que cette digue ne fera d'autres fonctions que de ſoutenir la preſſion de la maſſe d'eaux ſtagnantes ſur EFGK, il ſeroit très-inutile de conſtruire EF avec la même ſolidité & les mêmes précautions que ſi elle devoit recevoir l'action du courant: en conſéquence, il ſuffira que la digue EF ſoit une ſimple chauſſée en terre ou en gravier, & dont le couronnement ſoit ſupérieur à la ſuperficie des plus hautes eaux.

Obſervations eſſentielles ſur la conſtruction de l'éperon. Fig. 23.

334. Quant à l'éperon GH, il y a pluſieurs obſervations à faire.

1°. Le courant devant néceſſairement s'établir le long du parement GH, & y exercer ſon action latérale & celle de corroſion ſur le fond, il eſt eſſentiel qu'il ſoit fortifié de façon que ces actions ne puiſſent point le dégrader; car étant l'ame de l'ouvrage, une fois détruit, la ruine de tout le reſte s'en ſuivroit.

2°. La digue EF sera d'autant mieux mise à couvert par la digue d'eau EFGK que le nombre de tranches ou lames élémentaires 1, 2, 3, &c. sera plus considérable. Or ce nombre dépend de la longueur de la partie FG de l'éperon en amont de la ligne EF. Donc les ouvrages sur EF seront d'autant mieux assurés que la partie FG de l'éperon sera plus longue.

3°. Arrivé en H, le courant doit s'extravaser sur les derrières de EF; & il est possible qu'il y ait un mouvement de turbination qui produise un gouffre. Il faut donc éloigner ce danger de EF, qui n'étant qu'en terre & gravier (333) en seroit infailliblement dégradée; en conséquence, l'éperon doit déborder la digue EF en aval d'une certaine quantité FH.

Quelles sont les parties de l'éperon qu'il faut fortifier. Fig. 23.

335. Il ne suffit pas de fortifier le parement extérieur de l'éperon; les deux abouts G & H, & une partie des paremens de revers doivent être aussi soigneusement fortifiés; en effet:

1°. Le courant PQRS en s'établissant le long de GH, agira nécessairement sur l'about G; d'autre part les eaux qui couleront pendant les crues sur l'espace AKGP, ne rentreront, dans le courant, qu'en G; ainsi, sous ces deux rapports, l'about G exige d'être soigneusement fortifié.

2°. A raison de ce que nous venons de dire, il pourra arriver que vers l'about G & intérieurement à l'espace EFGK, il s'établisse, dans certaines circonstances, des gouffres résultans des mouvemens de turbination; par conséquent, il est prudent de fortifier pareillement le revers de l'éperon vers l'about G.

3°. C'est par la même raison qu'on doit pareillement fortifier avec soin l'about H d'aval & le revers correspondant à FH.

La longueur de l'éperon du côté d'amont, est en raison inverse de la pente de la rivière. Fig. 23.

336. Pour déterminer le filet LO à prendre la direction LG, il faut que la pente par LG soit plus grande d'une quantité déterminée que la pente par la ligne brisée LTG; or, plus

plus la pente de la rivière ſera grande, moins il faudra de longueur à la ligne briſée LTG pour ſe procurer une différence déterminée de pente ſur des eſpaces égaux à LG. Au contraire, plus la pente ſera petite, plus la ligne briſée doit être longue. Donc la ligne TG ſera plus courte dans le premier cas, & plus longue dans le ſecond : il en ſera par conſéquent de même de FG. Donc *la longueur FG de l'éperon en amont, ſera ſenſiblement en raiſon inverſe de la pente de la rivière.*

Quelle doit être la longueur de la partie en aval. Fig. 23.

337. Pour ce qui eſt de la longueur de la partie FH en aval, comme elle eſt affectée (334 3°.) à garantir la digue EF de l'effet des gouffres produits par le mouvement de turbination des eaux, elle doit viſiblement être proportionnée à la longueur de ces gouffres. Or, cette longueur eſt plus ou moins grande, ſuivant le volume d'eau des rivières. Conſéquemment, la longueur de la partie FH de l'éperon en aval de la digue, ſera comme le volume d'eau de la rivière ſur laquelle on opérera.

Expériences relatives à ces dimenſions.

338. On voit par-là que c'eſt à l'expérience qu'il faut recourir, pour trouver la longueur des parties d'amont & d'aval de l'éperon. Lorſqu'on s'en ſera aſſuré ſur une rivière dont on connoîtra le volume d'eau & la pente, il ſera aiſé de trouver ces dimenſions dans toute autre rivière.

Nous fîmes nos premiers eſſais à ce ſujet ſur la Durance à Orgon, dans le département des Bouches-du-Rhône. En cet endroit, la pente réduite de la rivière eſt d'environ 14 pouces ſur 100 toiſes de longueur. Nous ne donnâmes d'abord que 15 toiſes de longueur à FG; l'expérience nous fit voir qu'elle étoit inſuffiſante, & que la rivière, ayant abaiſſé ſon lit devant l'éperon, il pouvoit ſe former des branches qui circulaſſent dans l'eſpace AEFP pour rejoindre la branche-mère en G. Nous avons évité en grande partie cet inconvénient en donnant 25 toiſes à FG. Cependant cette longueur eſt encore inſuffiſante, & il paroît que, ſur cette rivière, FG ne doit pas avoir moins de 50

toises ; nous nous en serions assurés positivement, mais la révolution & diverses circonstances particulières ne nous l'ont pas permis.

Quant à FH nous lui avons constamment donné de 8 à 10 toises, & l'expérience nous a fait voir qu'elle suffisoit sur la Durance.

Les atterrissemens produits par les dépôts, auront la forme d'un glacis incliné vers le courant.

339. Nous terminerons ce paragraphe en disant encore un mot sur les atterrissemens produits par les digues perpendiculaires. Les eaux déposeront d'autant plus qu'elles seront plus stagnantes ou qu'elles auront moins de mouvement. Or, plus elles seront éloignées du courant, plus elles seront tranquilles ; au lieu, qu'en avançant vers la rivière, elles participeront toujours plus à son mouvement. Donc les dépôts seront plus considérables loin du courant & ils diminueront en s'approchant. Par conséquent *ils auront la forme d'un glacis incliné vers le courant*, & c'est ce que l'expérience justifie.

§. II.

Des diverses espèces de Digues ; leur profil, leurs matériaux, leur construction, & des cas où on doit les employer.

Problème relatif au profil des murs d'un bassin. Fig. 24.

340. Avant d'entrer en matière, nous allons chercher une formule générale qui, avec quelques modifications, puisse s'adapter à la plupart des digues dont nous traiterons.

Supposons que AK (fig. 24) soit le parement intérieur du mur d'un bassin dans lequel l'eau s'élève jusqu'en A, & que ce mur soit composé de lames horisontales Pm infiniment minces & liées entr'elles par le seul frottement. Il s'agit de trouver l'équation à la ligne AML qui terminera les lames Pm, pm' &c., de façon qu'elles soient en équilibre avec l'action de l'eau.

S'il n'y avoit point de frottement, une lame quelconque Pm étant poussée, glisseroit sur l'inférieure pm'. Mais à cause de la

réſiſtance du frottement, avant qu'elle ſoit ſur le point de gliſſer, il faudra qu'il y ait une certaine quantité de force abſorbée. Ainſi, le corps qui oppoſera cette réſiſtance, recevra lui-même cette force : or, cette réſiſtance eſt oppoſée par les irrégularités de la ſurface ſupérieure de la lame pm', qui engrênent celles de la ſurface inférieure de la lame Pm. Donc, dans le cas d'équilibre, l'action de l'eau ſur la lame Pm ſe tranſmet à la lame pm'.

Par un ſemblable raiſonnement, on voit que cette même action doit ſe tranſmettre à toutes les lames inférieures & qu'il en ſera de même des actions ſur les lames pm', $p'm''$, &c. Donc, dans l'équilibre, une lame quelconque eſt cenſée éprouver, de la part de l'eau, une action égale à l'action entière de l'eau ſupérieure.

Nommons AP, x & PM, y. Pp ſera $= dx$. Soient la peſanteur ſpécifique des matériaux $= q$; le rapport de la preſſion à la réſiſtance du frottement $= m$; la vîteſſe produite par la gravité en une ſeconde, c'eſt-à-dire 30 pieds $= p$, & la force du choc perpendiculaire de l'eau mue, avec un pied de vîteſſe par ſeconde, contre une ſurface immobile d'un pied carré $= n$; nous aurons l'action de l'eau ſur P$p = \int 2npxdx$.

La tranche Pm portera toute la partie ſupérieure APM $= \int ydx$. Donc la réſiſtance du frottement ſera $= \frac{q\int ydx}{m}$

Et puiſqu'il doit y avoir équilibre entre l'action de l'eau & la réſiſtance du frottement, nous aurons l'équation $\frac{q\int ydx}{m} = \int 2npxdx$, ou en différenciant les deux membres, $\frac{qydx}{m} = 2npxdx$: d'où l'on tire $y = \frac{2mnpx}{q}$; équation au triangle.

Pour conſtruire ce triangle ſur la verticale AC (fig. 25.), Fig. 25.
prenons AT $= q$, & tirons l'horiſontale TV $= 2mnp$. Si nous joignons le point A au point V par la droite AVF, le triangle ACF ſatisfera à la queſtion : car en nommant AR, x & RH, y, on aura la proportion $q : 2mnp :: x :$ RH $= y \frac{2mnpx}{q}$.

341. Menons AD parallèle à CF &, par un point quelconque G pris ſur cette ligne, tirons aux points C & F les lignes GC, GF; les élémens du triangle GCF ſeront égaux aux élémens correſpondans du triangle ACF. Donc le triangle GCF ſatisfera auſſi à la queſtion. Il en ſera de même de tout autre triangle qui aura pour baſe CF & ſon ſommet en quelque point de AD.

Applications aux digues ſur les rivières.
Fig. 25.

342. Appliquons aux digues ſur les rivières la ſolution de ce problême. Suppoſons qu'une rivière choque le parement AC, que ſes eaux s'élèvent juſqu'en B, &, qu'en cet endroit, la hauteur due à leur vîteſſe ſoit AB; il eſt évident, qu'abſtraction faite des obſtacles qui empêchent (97) que la vîteſſe des eaux inférieures ne ſoit exprimée par les ordonnées d'une parabole, l'action ſur BC ſera à-peu-près la même que dans le problême du n. 340, ſi l'on eût ſuppoſé le réſervoir entretenu plein & un orifice vertical rectangulaire de la hauteur de BC. Nous diſons *à-peu-près*; car (340) l'action de l'eau ſur AB ſe fait ſentir à toutes les lames inférieures dans le réſervoir entretenu plein, tandis que, dans les rivières, la partie AB n'éprouve aucune action. Mais la différence eſt à l'avantage des travaux dont nous traitons, puiſque nous ſuppoſons par-là que l'action ſur la digue eſt un peu plus grande que dans la réalité; ce qui n'eſt pas un défaut. Donc tout ce que nous venons de dire (340 & 341) peut s'appliquer aux digues ſur les rivières, &, par conſéquent, le triangle ACF ou tout autre de même baſe & de même hauteur pourra en être le profil.

L'expérience rend inutile la ſolution de ce problême.
Fig. 23.

343. Tel eſt le réſultat de la pure théorie. Si l'architecture hydraulique étoit encore au berceau, la formule du n. 340 pourroit nous diriger dans nos eſſais & nos expériences; mais aujourd'hui il ſeroit inutile & même déplacé de s'y conformer: car elle nous jetteroit dans des dépenſes ſans fin pour faire des expériences qui, dans tous les cas, nous fiſſent connoître le rapport de la force de tenacité des matériaux à leur preſ-

ſion ; & elle ne nous fait voir qu'une choſe que tout le monde ſait, ſavoir : que les ouvrages ſur les rivières doivent avoir un empattement & plus de largeur à la baſe qu'au couronnement, mais la loi de diminution eſt infiniment mieux & plus ſûrement déterminée par l'expérience que par l'équation. En effet, en recueillant tout ce que nous avons obſervé, ſoit ſur nos ouvrages, ſoit ſur ceux d'autrui, nous pouvons réſumer ce qui ſuit, ſavoir :

1°. Dans les digues EF (fig. 23ᵉ.) conſtruites en terre ou en gravier & deſtinées à être terminées par un éperon GH, le couronnement doit avoir 9 pieds de largeur, & les talus, tant antérieurs que poſtérieurs, une ſaillie de 3 de baſe ſur 2 de hauteur ; ils peuvent même être réduits à la diagonale du carré, ou à un de baſe ſur un de hauteur.

2°. Les mêmes dimenſions auront lieu dans les mêmes digues lorſqu'elles ſeront fortifiées d'un péré quelconque.

On peut même, dans l'un & l'autre cas, réduire la largeur du couronnement ſuivant le volume d'eau & la rapidité des rivières, mais on doit conſtamment obſerver qu'il vaut mieux pêcher par excès que par défaut.

3°. Dans les digues en pierre, l'épaiſſeur à la baſe doit être égale à la hauteur. Quant à la largeur du couronnement, elle varie ſuivant les conſtructions & les circonſtances.

Si la digue eſt parementée en taille & conſtruite à mortier de chaux & ſable, le couronnement aura 5 pieds de largeur ſur les rivières fort rapides, & ſon *minimum* ſera de 3 pieds dans celles qui ont peu de vîteſſe.

Si elle eſt conſtruite en blocaille ou en pierre d'échantillon, & ſans mortier, le *maximum* de la largeur au couronnement ſera de 7 à 8 pieds, & le *minimum* de 4 pieds.

Au ſurplus, nous parlons des digues ſur les rivières : car s'il eſt queſtion d'un ouvrage ſur un torrent-rivière pris à

l'endroit où il tient plus du torrent que de la rivière, on sent bien qu'il y auroit des modifications.

En un mot, comme dans une infinité de cas les ouvrages dépendent des localités qu'on sait être variées à l'infini, il y a aussi une infinité de circonstances où la sagacité & les connoissances de l'ingénieur doivent suppléer à ce qui peut manquer à ce traité: car on doit sentir qu'il est impossible d'établir des principes qui embrassent tous les cas sans aucun amendement.

Nous allons à présent entrer dans les détails de chaque espèce de digue en particulier.

ARTICLE PREMIER.

Des digues en terre ou gravier qui doivent être terminées par un éperon.

Dimensions des digues perpendiculaires.

344. D'après ce que nous avons vu (324 & 333), ces digues doivent être employées dans le cas où il s'agit de forcer la rivière à exhausser, par des dépôts, une partie déterminée du lit, & elles doivent être perpendiculaires à la direction du courant, s'il s'y est déjà établi, ou à celle qu'il prendroit, s'il s'y établissoit.

Par le même n. 333 leur hauteur doit être supérieure à la superficie des plus hautes eaux de la rivière; cet excédent doit être au moins de 18 pouces. Ainsi la première chose à faire en pareil cas est de s'assurer, avant tout, de la plus grande hauteur des eaux, dans les plus fortes crues, & de la rapporter, par le niveau, à un point fixe pris sur la terre ferme adjacente. Ce point servira de repére lors de la construction.

On prendra, pareillement au niveau, le profil du sol, sur la direction de la digue à construire, & on le rapportera au repére dont nous venons de parler. Alors on aura toutes les données

pour avoir les coupes & profils de l'ouvrage. Mais avant d'en parler, nous allons dire un mot des matériaux qu'on doit employer.

345. Nous avons déjà dit (333) qu'il suffisoit, par le moyen de l'éperon GH, que la digue EF fût une simple chaussée en terre ou en gravier. On ne doit pas se dissimuler que la terre est préférable au gravier; 1°. Parce que les matériaux, tassés seulement par le roulage des voitures qui servent à leur transport, se lient mieux; 2°. parce que les terres empêchent les filtrations de l'amont à l'aval à travers la chaussée; ce qui mérite d'être pris en considération; 3°. enfin, parce qu'après l'atterrissement formé & la retraite des eaux on peut fortifier les talus avec de la broussaille qui croîtra bien mieux dans la terre que dans le gravier. Matériaux des digues perpendiculaires.

Mais aussi, d'un autre côté, le gravier a son avantage, en ce que, 1°. étant ordinairement sur la place, il en coûte très-peu pour le transport; 2°. l'agitation des eaux stagnantes ne dégrade pas les talus par la corrosion, ainsi que cela a lieu sur les talus en terre.

Nous avons expérimenté l'un & l'autre, & nous avons trouvé que la manière la plus économique & la plus sûre étoit de faire la chaussée en gravier, ayant seulement soin de ménager, dans le noyau & de bas en haut, un conroi de terre bien battue d'environ 2 pieds d'épaisseur, pour arrêter les filtrations. Dans ce cas les talus doivent être les plus grands possible. Par-là, l'agitation des eaux ne les dégradera pas.

346. Mais si la terre étoit plus à portée que le gravier, on sent bien qu'il faudroit l'employer de préférence. Alors on donnera le talus de 3 de base sur 2 de hauteur (343 1°.) & on le couvrira d'une couche de gravier d'un pied d'épaisseur. A défaut, il faudroit le garantir par des clayonnages ou palissades tressées en osier au droit de la ligne de la surface des eaux.

Coupe des digues perpendiculaires. Fig. 26.

347. Ainſi le profil tranſverſal ou la coupe de ces digues ſera un trapèze tel que ABCD (fig. 26), dans lequel EF eſt la ligne des plus hautes eaux, & AG ou DH eſt à GB ou HC :: 2 : 3. Et dans le cas ou la digue feroit en gravier, KLMN exprimeroit le conroi en terre (345).

Conſtruction des digues perpendiculaires hors de l'eau.

348. L'exécution de la chauſſée ne ſouffre aucune difficulté lorſqu'il n'y a pas de l'eau dans l'endroit où elle doit être conſtruite : elle n'en ſouffre pas davantage, s'il n'y a de l'eau que dans les crues; mais lorſqu'il y en a habituellement, il eſt à propos de détourner préalablement la branche qui y eſt établie. Nous donnerons plus bas les moyens à employer pour cet objet.

Conſtruction des digues perpendiculaires dans l'eau. Fig. 27.

349. S'il n'étoit pas poſſible de mettre à ſec l'emplacement propoſé, comme, par exemple, ſi la rivière n'avoit pas un lit majeur, la conſtruction en feroit plus difficile; mais elle pourroit néanmoins s'effectuer par la méthode ſuivante.

Soit ABCD (fig. 27.) le lit de la rivière, & GHLK la ſuperficie ſur laquelle on doit établir l'empattement de l'ouvrage; on cernera cet eſpace par des pieux plantés à environ 15 pouces, plus ou moins, de diſtance les uns des autres, ſur les lignes GH, HL & LK.

Si la rivière n'eſt pas rapide, on clayonnera ces paliſſades, & enſuite on comblera l'eſpace qu'elles renferment, avec du gravier ou de la pierraille, & à défaut avec de la terre. On formera ainſi une platte-forme au-deſſus de la ſurface des eaux, & ſur cette platte-forme on conſtruira la chauſſée ainſi que ſur un emplacement à ſec.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, on n'aura pas beſoin de treſſer la paliſſade; mais on jettera de la blocaille en amont de GH & de KL & le long de HL intérieurement. Les pieux feront deſtinés à arrêter ces blocs contre l'action du courant. Lorſqu'ils feront parvenus à la ſurface des eaux, on remplira le vuide reſtant ſur GHLK avec du gravier ou de la pierraille, juſqu'au

jusqu'au-dessus de l'eau & sur cette platte-forme on construira la digue.

Au surplus, on doit observer de n'exécuter ce genre de travaux que dans le tems des basses eaux, & d'en presser l'exécution pour ne pas se laisser surprendre par les crues.

ARTICLE II.

Des digues à pérés.

350. Par digues à *pérés*, on entend les digues en terre ou gravier dont le parement exposé à l'action du courant, est revêtu en pierre sèche. On distingue trois sortes de pérés.

Il y a trois sortes de pérés.

Le péré de la première sorte est composé de pierres d'appareil, ayant la forme de dalles. Ces pierres sont fort en usage sur la Durance dans la partie inférieure de son cours; elles ont ordinairement de 6 à 7 pieds de longueur, au-delà de 2 pieds de largeur, & au moins 18 pouces d'épaisseur. Nous donnerons à cette sorte de péré le nom de *péré en dalles*.

Le péré de la deuxième partie est composé de pierres en blocs bruts & de forme irrégulière; on l'emploie quand on n'a pas en sa disposition des carrières d'où l'on puisse tirer des dalles. Nous l'appellerons *péré en blocaille*.

Le péré de la troisième sorte est composé de pierres brutes & d'une grosseur au-dessous des blocs. On y a recours lorsqu'on manque de dalles & de blocs. Nous l'appellerons *petit péré*.

Conditions & qualités générales des digues à pérés.

351. Les digues à pérés peuvent être employées très-utilement par-tout & particulièrement aux éperons des digues perpendiculaires, aux chaussées des chemins établis dans le lit des rivières &c.; mais elles exigent diverses précautions qui diffèrent suivant l'espèce de péré. En général, on doit regarder comme principe fondamental que les pérés soient composés des plus grosses pierres possibles disposées de façon que, quoiqu'il

arrive, elles mettent conſtamment la chauſſée à couvert de l'action des eaux. Par conſéquent, comme le courant eſt cenſé s'établir à leur baſe & les affouiller, il faut que les pérés ſoient mis à l'abri des affouillemens par des *bermes* ou *crêches* qui les ſoutiennent au beſoin.

Nous allons entrer dans les détails qui appartiennent à chaque eſpèce de péré reſpectivement en commençant par la première.

Conſtruction des digues à péré en dalles.

352. Les pierres des pérés en dalles doivent être ſimplement couchées le long du talus de la chauſſée ſur leur plus grande face, de façon que leur longueur ſoit dans le ſens de la pente du glacis. Il eſt à propos qu'elles aient toutes la même largeur, qu'elles ſoient placées, bout-à-bout, les unes à la ſuite des autres, ſur la hauteur du talus, de manière qu'elles ne ſoient point en liaiſon & que leurs joints, dans ce ſens, ſe correſpondent, & enfin que ces mêmes joints ſoient aiſés & ouverts d'environ 2 pouces ou plus.

On doit auſſi obſerver que le talus de la chauſſée ſoit le plus rapide poſſible. Ainſi, s'il eſt en terre, comme les terres ont un certain degré de tenacité, ſur-tout lorſqu'elles ont été battues ou foulées, l'angle formé par la ligne du talus & celle du niveau devroit excéder 45 degrés. Si, au contraire, il eſt en gravier, il ſuffira qu'il prenne l'angle naturel.

Enfin, lorſqu'on exécutera ces ouvrages ſur des rivières fort rapides, donr les crues ſeront fort longues, & qui, par conſéquent, affouilleront beaucoup, on ne ſe bornera pas à une ſimple aſſiſe de dalles; mais on en emploiera deux, trois & même quatre & plus, ſuivant les circonſtances & la nature de la rivière ou la profondeur des affouillemens, obſervant toujours de les placer, ainſi qu'il a été dit ci-deſſus, & d'interpoſer une couche de ſable groſſier de deux poouces d'épaiſſeur.

Fig. 28.

Ainſi ABCD (fig. 28.) eſt la coupe tranſverſale de la chauſſée, & BÇ le talus expoſé à l'action du courant. On y voit

quatre assises de dalles représentées par les nombres 1, 2, 3 & 4 respectivement, placées les unes sur les autres, & séparées par une couche de sable.

Dans la figure 29, EFGH représente le plan du talus BC de la figure 28. On y voit que les pierres K, L, M sont placées bout à bout dans le sens de leur longueur & qu'elles se correspondent exactement. On y voit aussi qu'il en est de même des pierres N, P, Q, & que ces trois dernières sont séparées des trois premières par un joint qui laisse un certain vuide dans l'entre-deux des deux files. Fig. 29.

La raison de cette construction est simple & se présente d'elle-même; car, si l'on suppose que la berme dont nous parlerons bientôt & qui défend la base de la digue ABCD (fig. 28e.) s'enfonce par l'effet de la corrosion & de l'affouillement, l'assise 4 n'étant plus soutenue, descendra & suppléera à la berme; si le volume est insuffisant, elle sera suivie de l'assise 3, & ensuite de l'assise 2.; d'où il suit que le talus de la chaussée ne sera jamais à découvert, & que si l'on prévoyoit des progrès effrayans dans les affouillemens, on auroit le tems nécessaire pour remplacer les assises qui sont descendues, jusqu'à ce qu'enfin l'ouvrage eût pris une assiette invariable par la stabilité du fond; par conséquent, il est essentiel de faciliter la descente des dalles. Fig. 28.

Or, 1°. plus il y aura de pente dans le talus de la chaussée, plus la descente des dalles sera facile.

2°. Elle sera encore facilitée par le lit de sable grossier interposé entre les assises 1, 2, 3 & 4: car les grains de ce lit de sable seroient comme des rouleaux pour faire glisser les assises supérieures sur les inférieures.

3°. Elle sera facilitée enfin par l'intervalle des joints dans le sens de la pente du talus, tel que celui qui sépare les pierres K, L, M, des pierres N, P, Q, (fig. 29e.) & qui rend les trois premières indépendantes de leurs voisines. Fig. 29.

Donc, par cette conſtruction, les dalles auront conſtamment la liberté de gliſſer ſucceſſivement les unes ſur les autres ſans ſe gêner mutuellement, & tout ſera défendu en même-tems, la baſe & le talus. Par conſéquent c'eſt cette forme qu'il paroît qu'on doit adopter dans les digues à péré en dalles.

C'eſt d'ailleurs ce que l'expérience nous a appris dans la conſtruction des digues ſur la Durance.

La baſe ne doit pas être défendue par un pilotage.

353. Puiſque la baſe doit eſſentiellement être miſe à couvert des affouillemens, le premier moyen qui ſemble ſe préſenter de lui-même eſt le pilotage. Mais outre que ce moyen eſt exceſſivement coûteux dans les rivières ſujettes à corroder & à affouiller le fond, telles que toutes les rivières qui charient du gravier, il ſeroit inſuffiſant pour cet objet; car il n'empêcheroit par les eaux d'agir dans l'entre-deux des pilotis juſqu'à ce qu'elles fuſſent parvenues au droit de la chauſſée qui, dès-lors ſe trouvant minée, ſeroit ruinée à fond. Il n'y auroit que le cas où l'on emploieroit des pal-planchers, que le pilotage pourroit remplir cet objet. Mais le nôtre eſt d'économiſer dans les frais de conſtruction, &, aſſurément, en employant ce moyen, nous n'en prendrions pas la route.

Deſcription des bermes à ſubſtituer aux pilotages.

354. Le ſecond moyen de garantir la baſe des digues, & qui, ſans contredit, eſt le plus ſimple, le plus sûr & le plus économique ſur ces ſortes de rivières, & même ſur toutes les rivières poſſibles, conſiſte dans l'emploi des *bermes* ou *crêches*. Les *bermes* ne ſont autre choſe qu'un tas de pierres de même volume que celles qui compoſent le péré, & qu'on place à la baſe de la digue & au-devant du parement. A meſure que le courant affouille, ces pierres deſcendent; mais elles ne peuvent pas être entraînées, ſoit (208) parce qu'elles ſont trop volumineuſes, ſoit ſur-tout parce qu'elles ſe ſoutiennent mutuellement. Elles deſcendront donc juſqu'à ce que les plus baſſes ſe ſoient enfoncées en totalité ou en partie dans le gravier du fond après l'affouillement, & dans cet état, elles ſerviront de

base aux pierres supérieures, qui, pour lors, ne permettront plus au courant d'agir sur la base de la digue. Ainsi, quand les choses seront parvenues à ce point, on peut être assuré que la stabilité de la digue sera à toute épreuve.

355. De-là on pourra évaluer, au moins par approximation, la hauteur à donner aux bermes: car, puisqu'elles doivent combler avec usure le vuide occasionné par l'affouillement, si, par observation ou par quelque moyen déduit des principes que nous avons établis, on détermine la profondeur de la corrosion qui doit avoir lieu au pied de la digue, & qu'à cette profondeur, on ajoute 1°. la plus basse pierre qui (208) est censée enterrée dans le gravier; 2°. les deux plus hautes qui doivent couvrir le pied de la digue; on aura la hauteur totale approchée de la berme.

Détermination des dimensions des bermes.

Dimensions des bermes.

Quant à la largeur, on sent qu'elle doit encore être proportionnée à la profondeur de l'affouillement. Car, en descendant, les pierres prendront un talus quelconque, qu'on peut supposer de 45 degrés, & dont l'empattement sera en proportion avec cette profondeur.

Il ne reste donc plus que la largeur du couronnement de la berme à déterminer. Cette détermination dépend de la nature de la rivière & de l'expérience. Plus la rivière sera considérable & rapide, plus cette largeur doit être grande, pour amortir, autant qu'il sera possible, par les parties saillantes des pierres & par la diminution de profondeur des eaux, l'action du courant sur la digue pendant les crues. Sur la Durance, par exemple, il paroît prouvé par l'expérience, que cette largeur doit être d'environ 9 pieds.

Ainsi, dans la figure 28, supposons que le gravier s'élevât primitivement jusqu'à la ligne RY, & que, par l'effet de la corrosion, le fond se soit abaissé jusqu'à la ligne VX; que VS représente la hauteur de l'assise enterrée dans le gravier du

Fig. 28.

fond (208), & que l'angle STY soit de 45 degrés, le trapèze RSTY sera la section approchée de la berme.

Au surplus, comme cette partie est essentielle, on doit observer qu'il vaut mieux pécher par excès que par défaut.

Dans les digues à péré de dalles, les bermes seront aussi en dalles.
Fig. 28.

356. Dans le cas dont nous parlons, & où le péré doit être en dalles, la berme RSTY sera aussi en dalles. Les dalles de la base pourroient être couchées, & les supérieures inclinées : mais comme elles sont toutes destinées à descendre, pour faciliter cette descente & maintenir leur arrangement, autant qu'il sera possible, il sera mieux de les incliner toutes sous le même angle que les assises 1, 2, 3 & 4 du parement de la chaussée: alors il n'y aura que la tête des plus basses qui s'enfoncera dans la partie VSTX du fond au-dessous de la ligne VX (208).

Revenons à présent à nos digues à pérés en dalles.

357. Lorsque la digue devra servir d'éperon à une chaussée perpendiculaire, telle que celle dont nous avons parlé à l'article précédent, la hauteur & le couronnement de la chaussée ABCD (fig. 28) seront les mêmes que la hauteur & la largeur du couronnement de la chaussée perpendiculaire ABCD (fig. 26). Les talus seront pareillement les mêmes par-tout où il n'y aura pas de pérés, mais dans la partie à pérés, ces talus seront plus rapides, conformément à ce que nous avons dit (352); par conséquent, on voit que *le couronnement doit être supérieur aux plus hautes eaux de la rivière.*

Cas où la digue seroit destinée à servir de chaussée pour un chemin.

358. Si la digue est destinée à servir de chaussée pour un chemin à établir dans le lit d'une rivière, la largeur de son couronnement sera égale à celle qu'on voudra donner au chemin; à cela près, tout le reste sera le même que dans le cas du n. 357.

Cas où la digue seroit oblique au courant.
Fig. 28.

359. La même identité aura encore lieu en tout point avec les chaussées perpendiculaires, & en se conformant à ce qui est dit au même n. 357, si par quelque raison que ce fût la digue

devoit être oblique à la direction du courant; dans ce cas, on auroit seulement soin d'observer (232) que l'affouillement au pied de la digue seroit plus profond, & que pour cette raison (355) la quantité de matériaux de la berme RSTY (fig. 28) seroit plus considérable.

360. Lorsque la digue devra être construite sur un emplacement à sec, on creusera des fondations, autant que les eaux qu'on rencontrera à une certaine profondeur pourront le permettre pour l'établissement des dalles, tant des assises 1, 2, 3, 4 du péré, que de celles de la berme. Ce sera dans ces fondations qu'on placera les matériaux tant de l'un que de l'autre.

Cas où la digue doit être construite hors de l'eau. Fig. 28.

Ainsi soient AB (fig. 30) la surface du gravier, CD la ligne à laquelle on rencontre les eaux qui filtrent à travers le gravier, EF la ligne jusqu'à laquelle on pourra creuser, GH la ligne des plus hautes eaux de la rivière dans les grandes crues, & KL celle à laquelle on devra porter le couronnement de la chaussée AMNP. On creusera d'abord l'espace PQFB en talutant PQ suivant la ligne PN, & ce sera à partir de la ligne QF qu'on exécutera tant le péré NQRS que la berme RFVT conformément à ce qui a été dit ci-dessus.

Fig. 30.

Dans ce cas les déblais de la tranchée PQFB serviroient au remblai de la chaussée AMNP.

361. Lorsqu'on doit construire dans l'eau, il y a plus de difficultés. Cependant quoique ces difficultés entraînent plus de dépenses, il faut tâcher d'y apporter la plus grande économie.

Cas où la digue doit être construite dans l'eau.

En examinant la chose de près, on verra que la question se réduit à préparer, au-dessus des eaux, une plate-forme sur laquelle on puisse établir les ouvrages & qui leur serve de base. Cette plate-forme ne peut être faite que par encombrement, & cet encombrement doit réunir la plus grande solidité à la plus grande économie.

Or ici il se présente divers cas, savoir: 1°. celui où la digue doit

être parallèle au courant; 2°. celui où elle doit le couper, soit obliquement soit perpendiculairement; &, dans l'un & l'autre cas, le courant peut avoir plus ou moins de rapidité. Or nous allons examiner tous ces cas, & tâcher d'allier, dans chacun, l'économie avec la solidité.

Construction d'une digue parallèle le long d'une berge. Fig. 31.

362. Supposons d'abord qu'il soit question de construire la digue dans l'eau, le long de la berge, & parallèlement au courant. Soient la rivière ABCD (fig. 31.) EGHF la coupe de son lit, EF la ligne de la surface des eaux, DC la berge à défendre par la digue à construire, & MNKL l'empattement de cette digue dans le lit du courant. Puisqu'il s'agit de mettre la berge DC à couvert, on suppose, par-là même, que le courant la corrode, & que, par conséquent (105 2°.), le lit y est plus bas, ainsi qu'on le voit dans la section EGHF. On fera donc glisser dans l'eau, le long de la berge CD, des dalles les unes devant les autres, & un peu inclinées sur l'espace MNKL, jusqu'à ce qu'elles paroissent à la superficie du courant. Ce sera alors sur cette plate-forme qu'on établira le reste des ouvrages, en observant de laisser en saillie la largeur PQ, nécessaire à la berme qu'on exhaussera convenablement. On voit dans la coupe le profil OPQRSTFH des travaux.

Dans ce cas, si le courant est rapide, on plantera une file de pieux sur LK, pour empêcher que l'eau n'entraîne & ne dérange les dalles pendant la construction, & l'on commencera les travaux en L en remontant vers D; mais si le courant n'est pas fort, on n'aura pas besoin de pieux, & l'on pourra indistinctement commencer les travaux en L ou en M, & les diriger en amont ou en aval à volonté.

Ainsi ce cas, comme l'on voit, est peu susceptible d'économie.

Simplification de cette construction.

363. Dans ce même cas, si la berge qu'on veut soustraire à la corrosion fait partie des crémens de la rivière, & que la digue à construire ait principalement pour objet d'arrêter les

les progrès de cette corrosion, on peut opérer d'une manière plus régulière que celle que nous venons de prescrire. Pour cela, à la distance de quelques toises de DC & parallèlement à cette ligne, ou dans la direction qu'on voudroit donner à cette digue, on ouvriroit une tranchée dans les terres, & l'on construiroit la digue conformément à ce qui a été dit au n. 360.

Construction d'une digue oblique dans l'eau.

364. Supposons à présent que la digue à construire dans l'eau doive être oblique ou perpendiculaire au courant, pour obvier à la perte des matériaux par l'action des eaux, & en même tems pour économiser autant qu'il sera possible, on construira l'empattement de la digue & de la berme, & on formera la plate-forme au-dessus de la surface du courant, conformément à ce qui a été dit au n. 349.

Venons aux digues à *péré en blocaille.*

Cas où l'on emploie les digues à péré en blocaille.

365. Nous avons dit (4) que la mer ne s'étoit jamais élevée au-dessus de 230 toises par rapport à son niveau actuel; par conséquent, dans tous les pays supérieurs à cette hauteur, on ne trouvera pas des pierres d'appareil pour les employer comme dalles. Il y a aussi, au-dessous de cette hauteur, bien des endroits où l'on n'en trouve point. Dans tous ces cas, on emploie les pérés en blocailles, lorsqu'il se rencontre quelques montagnes à portée d'où l'on peut tirer des blocs.

Construction de ces digues.

L'emploi de ces blocs tant pour les pérés que pour les bermes est fondé sur le même principe que celui des dalles, c'est-à-dire qu'il faut que le parement de la chaussée & sa base soient constamment à couvert de l'action des eaux: d'où il suit que, dans la construction de ces sortes de digues, on doit:

1°. Employer double ou triple péré suivant les circonstances & la nature de la rivière sur laquelle on opère.

2°. Donner au péré le talus le plus rapide possible pour faciliter la descente des blocs lorsque la rivière affouillera.

3°. Faire en sorte que les blocs ne soient pas trop serrés les

uns contre les autres & qu'ils ne ſe gênent pas mutuellement dans leur deſcente.

Du reſte les digues à péré de blocaille ſe conſtruiſent de la même manière que celles à péré de dalles. Ainſi nous ne nous étendrons pas davantage ſur cet objet.

Digues à petit péré ; cas où on les emploie ; leur conſtruction.

366. Lorſqu'on ne peut ſe procurer ni des dalles ni des blocs, on a recours aux digues à petit péré. Ces digues ont beſoin d'une attention particulière ; car il faut que le talus de la chauſſée ſoit conſtamment couvert : & comme les pierres n'ont pas aſſez de maſſe pour réſiſter par elles-mêmes à l'action du courant, il faut qu'elles ſe ſoutiennent mutuellement. D'où il ſuit qu'elles doivent former un pavé ſerré, de façon qu'elles ne puiſſent pas en être détachées par le courant ; car on ſent que leur force conſiſte dans l'union & l'aſſemblage, & que l'enlèvement d'une pierre entraîneroit néceſſairement la ruine de l'ouvrage.

Par-là même que les pierres ne ſont pas aſſez volumineuſes, on ne peut pas, dans ce cas, les employer à la berme. Auſſi cette partie de la digue ne peut guères alors être faite qu'en pilotage : pour cela, on plantera, tout le long du péré, au pied de la digue, un double rang de pilotis le moins eſpacés qu'il ſera poſſible, & on en remplira l'entre-deux, ſoit de tunage, ſoit de pierres aſſez conſidérables pour ne pouvoir pas s'échapper entre les pilotis.

Ce genre de péré, étant le plus foible de tous, il ne ſeroit pas mal à propos de le doubler ou tripler ſuivant les circonſtances ; en quoi il faut ſe conformer à la nature du courant auquel on veut s'oppoſer. Dans ce cas, ſi, par quelque accident que ce ſoit, le premier péré venoit à être dégradé, il reſteroit le ſecond.

C'eſt encore d'après le principe, que les pierres ſont peu volumineuſes, que le glacis de la chauſſée doit, dans ce péré, avoir le moins de rapidité ou le plus d'empatement poſſible.

Par-là, les pierres auront moins de tendance à descendre & se soutiendront beaucoup mieux.

367. Dans le cas de ces mêmes pérés, on pourroit suppléer par l'art à ce qui manque au volume des pierres. Pour cela, il n'y auroit qu'à substituer au péré un mur en bâtisse, couché sur le glacis, & dont l'épaisseur seroit d'environ 18 pouces, plus ou moins, suivant les circonstances. Le parement visible de ce mur seroit en forme de pavé. On ne construiroit ce mur que par pans d'environ 6 ou 7 pieds de largeur & on sépareroit tous ces pans par un vuide de 2 ou 3 pouces. Ils seroient établis sur une couche de sable ou de gravier dont on couvriroit préalablement le talus de la chaussée qui, dans cette construction, devroit être assez rapide pour permettre à ces pans de descendre en cas d'affouillement.

Moyen simple de transformer les digues à petit péré en digues à péré en dalles.

On pourroit aussi employer plusieurs pérés semblables, les uns sur les autres. Dans ce cas on auroit soin d'en séparer les assises par une couche de sable, ainsi que nous l'avons indiqué (352) pour les pérés en dalles.

Nous devons observer que cette construction ne peut avoir lieu que pour les digues qu'on exécute à sec; car il est visible qu'il seroit impossible d'exécuter le péré dans l'eau.

Quant à la berme à employer, sa construction dérive du même principe. Après en avoir fixé les dimensions suivant ce que nous avons dit au n. 355, on creusera ses fondations & celles du péré conformément à ce qui a été dit au n. 360; mais on ne les portera que jusqu'à la surface CD (fig. 30) des eaux de filtration. A cette profondeur on construira la berme DXTV par couches & par pans en maçonnerie, ainsi qu'on aura déjà traité le péré NSXY.

ARTICLE III.

Des Digues à pierre sèche.

Digues à pierre sèche en dalles ou en blocaille.

368. Les digues dont nous parlons n'ont ni chaussée ni péré; elles sont entièrement en pierre, & comme ces pierres ne sont point liées entre elles par aucun mortier, on sent qu'elles doivent être composées des plus gros matériaux possibles; conséquemment elles ne peuvent être qu'en dalles ou pierres d'appareil, & en blocaille. Ce sont ces sortes de digues qu'on a presque toujours employées sur la Durance. Nous allons examiner successivement leur construction, leurs vices & leur réforme, en commençant par les digues à pierres d'appareil ou en dalles.

Construction des digues en dalles, usitée sur la Durance. Fig. 32.

369. Nous avons déjà parlé (350) de la forme & des dimensions des pierres. La manière dont on les emploie est représentée par la figure 32, dans laquelle ABCD est le plan de la base, & EFGH la coupe transversale prise sur la ligne quelconque KL : FG est le parement du côté de la rivière. On voit dans cette figure :

1°. Que les pierres sont employées sur leur lit par assises réglées;

2°. Que chaque assise est composée de trois parties AMQD; MNPQ & NBCP;

3°. Que les pierres des parties en parement sont employées par boutisses & que chaque pierre y fait parpin;

4°. Que dans la partie intermédiaire MNPQ qu'on appelle *la clef*, on ne sait pourquoi les pierres y sont employées par carreaux.

5°. Enfin que celles du parement du côté de la rivière ont une très-petite retraite à chaque assise; cette retraite, suivant l'usage, n'est guères que d'un pouce ou deux.

Quelquefois on ſupprime *la clef* MNPQ. Il y a même des cas où l'on n'emploie que la partie en parement BCPN. Mais la conſtruction la plus générale eſt telle que nous venons de la décrire.

Dans tous les cas, pour mettre la digue à couvert des affouillemens, on forme une berme au-devant du parement FG avec des pierres de même dimenſion que celles de l'ouvrage. Ces pierres ſont accumulées dans le courant au pied de la digue. Dans le pays, on leur donne le nom de *briſants*, parce qu'elles ſont deſtinées à briſer le choc des eaux.

370. Cette conſtruction paroît être vicieuſe ſous les rapports ſuivans. Vices de cette conſtruction. Fig. 32.

1°. En général elle abſorbe beaucoup trop de matériaux, & par-là, elle devient trop coûteuſe.

2°. La clef, qui par ſa dénomination, devroit lier les pierres des deux paremens, les iſole au contraire & les rend indépendantes les unes des autres.

3°. Il eſt rare que le volume des matériaux de la berme ſoit proportionné à la profondeur des affouillemens.

4°. Le parement FG n'a pas aſſez de retraite, d'où il réſulte qu'à la ſuite des affouillemens, l'ouvrage s'écroule.

Cela eſt conſtaté par l'expérience. Il y a peu de digues de cette nature ſur la Durance qui n'aient été ruinées & reconſtruites.

371. Si l'objet de la digue exige abſolument que le corps de l'ouvrage ſoit entièrement en pierre, il ne faut jamais perdre de vue que les matériaux du parement doivent être diſpoſés de manière qu'ils puiſſent conſtamment s'accommoder à l'état de la rivière & mettre les travaux à couvert des affouillemens. Par conſéquent il eſt aiſé de voir, qu'en pareil cas, il faut adopter le profil repréſenté par la fig. 33; ABCD eſt le corps de la digue, BCGE en forme le péré en dalles & FHKL en eſt la berme. Ainſi cette conſtruction ſe rapporte aux digues à Réforme de cette conſtruction. Fig. 33.

pérés en dalles, dont nous avons parlé dans l'article II auquel nous renvoyons.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

372. Puiſque le corps ABCD de la digue doit être conſtamment mis à couvert par le péré BEGC, on voit, au premier abord, qu'il eſt inutile d'y employer des pierres d'appareil & qu'il ſuffira de le conſtruire en moëllon ordinaire qu'on peut ſe procurer à bien moins de frais. Par ce moyen, les travaux ſeront conſidérablement ſimplifiés, & il en réſultera une grande économie.

Venons aux digues en blocaille.

Deſcription & défauts des digues en blocaille, uſitées dans la ci-devant Provence.

373. Les digues en blocaille uſitées ſur la Durance & les autres rivières de la ci-devant Provence, ne ſont autre choſe qu'un ſimple mur, plus ou moins épais, conſtruit ſur le gravier, dont le parement a très-peu de retraite & dont la baſe eſt défendue par une berme.

Le vice général de ces digues conſiſte dans l'inſuffiſance du volume de la berme & dans celle de la retraite du parement; d'où il réſulte que, lors des affouillemens, l'ouvrage s'écroule, & les matériaux, s'éboulant dans le courant, forment alors la véritable berme ſur laquelle on eſt obligé de conſtruire une ſeconde digue.

Réforme de cette conſtruction. Fig. 33.

374. Pour réformer ce genre de digue, on doit encore adopter le profil de la fig. 33, en obſervant que, dans le cas dont il s'agit, il n'y a point de pierre d'appareil & que tout eſt en blocaille. Dans cette figure, le corps ABCD de la digue ſera un mur dont le parement BC aura la retraite convenable aux pérés en blocaille. BEGC en ſera le péré & FHKL la berme. Cette conſtruction, ſe rapportant alors aux digues à péré en blocaille, on ſe conformera à ce que nous avons dit à ce ſujet dans l'article précédent.

Simplification à y introduire. Fig. 33.

375. Dans cette conſtruction, le corps ABCD de la digue étant toujours garanti par le péré, on pourra le ſimplifier ainſi que nous l'avons dit au n. 372.

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

376. Si les digues en maçonnerie ſont les plus ſolides, elles ſont auſſi les plus coûteuſes: car elles exigent impérieuſement d'être établies ſur le ferme; & comme il eſt aſſez rare de le rencontrer dans le lit des rivières dont nous parlons (154), il s'enſuit qu'il faut, le plus ſouvent, recourir au pilotage, moyen extrêmement diſpendieux. Ainſi ces ſortes de digues ne doivent être employées que dans les cas où la choſe eſt indiſpenſablement néceſſaire. Au ſurplus, comme ce ſujet a déjà été traité par divers auteurs, nous n'en dirons ici qu'un mot. Cherté des digues en maçonnerie.

377. Les digues en maçonnerie ſe diſtinguent par leur parement. Les unes ſont parementées en taille & les autres en moëllon. Dans ce dernier cas, le moëllon doit être piqué; ſans cette précaution, le parement ſeroit bientôt dégradé. Conſtruction & dimenſions des digues en maçonnerie. Fig. 34.

Le choix & le profil de ces deux ſortes de digues ſont ſubordonnés à la nature des rivières ſur leſquelles on doit les employer.

Si la rivière a beaucoup de rapidité, ſi les crues ſont longues ou fréquentes, ou ſi la digue doit être habituellement expoſée à l'action du courant, le parement doit être néceſſairement en taille.

Si, au contraire, la rivière a peu de vîteſſe, que les crues ſoient courtes ou rares, ou ſi la digue ne doit eſſayer l'action des eaux que momentanément, elle pourra n'être parementée qu'en moëllon piqué.

Quant au profil de l'une & de l'autre de ces digues, il doit avoir la figure d'un trapèze ABCD (fig. 34). Les dimenſions de ce trapèze varient ſuivant les circonſtances. On convient ſeulement que le parement BC, expoſé à l'action de l'eau, doit

avoir beaucoup moins de retraite que le parement poſtérieur AD pour empêcher que la digue ne ſoit renverſée.

Les dimenſions de CD & de AB ne peuvent pas être aſſignées généralement. On ſent qu'elles doivent être d'autant plus grandes que l'action des eaux ſera plus forte; or cette action dépend de la maſſe d'eau & de la pente de la rivière (170), ainſi que ſa direction relativement à celle de la digue (327). Tout ce qu'on peut dire, c'eſt que ſi la digue n'éprouvoit aucun choc, & qu'elle n'eſſuyât que la force de preſſion comme un mur de réſervoir, CD devroit alors être égale à la profondeur correſpondante des eaux, & AB pourroit être $= 0$, ainſi qu'on peut le déduire du n. 340, & comme l'expérience le confirme. Par conſéquent c'eſt à l'ingénieur à conſulter les localités & les circonſtances, & à fixer le tout d'après ſes connoiſſances & les données qu'il aura.

Du reſte, on doit conſulter ce que nous avons dit à ce ſujet au n. 343 3°., auquel nous renvoyons.

ARTICLE V.

Des Digues en Gabions.

Deſcription des gabions. *Fig. 35.*

378. Il y a des cas où les pierres manquent abſolument pour la conſtruction des digues; alors on ſe ſert du gravier même de la rivière & l'on conſtruit des digues avec des *gabions.* C'eſt ainſi qu'on appelle des cônes faits avec des lattes ou perches qui ſe réuniſſent en un point & qui ſont aſſemblées entr'elles par une treſſe d'oſier ou de ſaule comme celles des paniers. On en voit la forme & la contexture dans la figure 35.

Conſtruction des digues en gabions.

379. Lorſqu'on veut faire uſage de ces ſortes de digues, on place les gabions vuides, à côté les uns des autres, ſur la ligne de la digue, la pointe vers le courant, & enſuite on les remplit de gravier. Si la rivière eſt forte, on en place deux, trois & même

même quatre rangs, les uns ſur les autres. La grandeur des gabions varie ſuivant les rivières. En général les grandes rivières exigent de plus grands gabions que les petites. On en ſent la raiſon.

Avantages & inconvéniens des digues en gabions.

380. L'avantage qu'on a dans les digues en gabions, c'eſt que les ouvrages ſont bientôt finis. Mais cet avantage eſt balancé par beaucoup d'inconvéniens. En effet:

1°. Lorſque la rivière affouille & que les gabions deſcendent, il arrive ſouvent qu'ils chavirent & ſe vuident.

2°. Il n'eſt pas rare que l'action du courant en créve la pointe, & alors ils ſe vuident par la rupture.

3°. Dans deux ou trois ans au plus, les lattes & les treſſes ſont pourries, &, par-là, la digue eſt détruite. D'où il réſulte qu'il faut, tous les deux ou trois ans, placer un nouveau rang de gabions ; ce qui devient à la fin fort coûteux.

Dans quel cas & pour quel objet on doit les employer.

381. De-là on doit conclure qu'il ne faut employer ce genre de digues que dans le cas où il s'agit d'arrêter les progrès des ravages d'une rivière, pour pouvoir enſuite ſe livrer à des travaux plus ſolides : dans ce même cas, on doit ſur-tout faire attention à deux choſes. La première eſt que la pointe des gabions ſoit aſſez bien conditionnée, par des liens, pour que le courant ne puiſſe pas l'endommager. La ſeconde, que les gabions ſoient placés de manière qu'ils ne puiſſent pas chavirer ni ſe vuider par leur entrée. Pour cela on les contiendra avec des pieux qu'on plantera de chaque côté. Nous pouvons ajouter qu'il ſeroit bien eſſentiel de leur donner une forme & des dimenſions à pouvoir les fermer.

ARTICLE VI.

Des Digues en encaissement.

Description des encaissemens. Fig. 36.

381. Lorsque le courant est si rapide que les digues précédentes deviennent insuffisantes pour le modifier, ou lorsque la pierre d'appareil, ou la blocaille est extrêmement éloignée, on emploie les digues par encaissement. Ces digues sont particulièrement usitées dans les pays des montagnes, à cause de la grande rapidité de leurs rivières. Dans le département des Basses-Alpes, elles sont connues sous le nom d'*arches*, dénomination tirée du mot latin *arca*, qui signifie un *coffre* ou un encaissement qui en a à-peu-près la forme.

Ces encaissemens ont la forme d'un parallélipipède rectangle, d'environ 15 ou 18 pieds de longueur, sur une toise de largeur & de hauteur, plus ou moins. Ils sont formés de madriers bruts assemblés, ainsi que le fait voir le parallélipipède BADCFEGH (fig. 36). On les construit sur la place avec du bois de pin ou de chêne. On les remplit, par la face ouverte ADEG, de pierres assez grosses pour ne pouvoir pas passer par les intervalles de la charpente: lorsqu'ils sont pleins, on ferme la face ADEG, afin qu'en chavirant ils ne puissent pas se vuider.

Leur solidité.

D'après cette construction, on sent que l'ensemble forme une masse si lourde, que le courant le plus violent ne sauroit l'entraîner. Tout ce qui arrive, c'est que l'encaissement étant affouillé, tombe dans le courant & s'enfonce jusqu'à un certain point dans le gravier (208); & comme ces bois ne se corrompent pas dans l'eau, il s'ensuit, qu'alors ces sortes d'ouvrages doivent être considérés comme des blocs de même volume & dont la masse est au-dessus de l'action des eaux: qu'on en établisse, bout-à-bout, un certain nombre, sur la ligne de la digue à construire, & l'on aura une digue à toute épreuve.

383. A défaut de bois de pin ou de chêne, on peut employer tout autre bois, même le peuplier qu'on rencontre par-tout le long des rivières. Dans ce cas, on doit bâtir les matériaux de rempliſſage avec de bon mortier; l'encaiſſement pourrira bientôt; mais avant qu'il ſoit tombé en corruption, la bâtiſſe aura fait corps, & l'enſemble produira le même effet que l'encaiſſement. Moyen de généraliſer l'uſage des digues par encaiſſemens.

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

384. Les digues en bois les plus connues ſont: 1°. les tunages; 2°. les arbres de revêtement; 3°. les paliſſades; 4°. les chevalets ou chevrettes. Nous ne parlerons pas ici des tunages dont l'uſage ſe rapporte bien moins aux rivières qu'aux canaux de navigation; mais nous allons examiner les trois autres genres de réparations. Diverſes ſortes de digues en bois.

385. Lorſque la Durance, dans ſes crues, corrode ſes berges, les riverains ſont dans l'uſage de couper les arbres les plus branchus & les plus à portée, & de les jetter dans l'eau, la tête en en-bas, aux endroits où le courant agit avec le plus d'énergie. Si l'arbre eſt au bord de l'eau, on ne le coupe qu'à demi, & on le laiſſe tenir à la tige par une partie de ſes fibres & de ſon écorce. Si, au contraire, il en eſt éloigné, on l'arrête avec une corde à un pieu qu'on enfonce profondément au bord de la rivière, vis-à-vis l'endroit où l'arbre doit être jetté dans l'eau. Il eſt rare que cette méthode ne produiſe pas ſon effet, & ne mette pas la berge à l'abri de la corroſion. Les branches forment des obſtacles multipliés qui atténuent & diviſent la force du courant. D'ailleurs elles arrêtent les brouſſailles & toutes les matières que les eaux emportent avec elles. Enfin, elles finiſſent le plus ſouvent par arrêter le gravier lui-même. Digues avec des arbres, uſitées ſur la Durance.

386. Le ſeul inconvénient de ce genre de digue de revêtement eſt de ne pouvoir pas y employer ſouvent des arbres ſtériles ou du moins qui donnent peu de produit, tel que le ſaule, le peuplier, l'orme, &c., & d'être au contraire ordinairement obligé d'y ſacrifier des arbres précieux & d'un grand rapport, tels que le murier blanc ſur la Durance. Auſſi ſeroit-il bien eſſentiel d'établir la police la plus ſévère, relativement aux arbres qui croiſſent ſpontanément le long des rivières; peut-être même faudroit-il obliger le riverain inſouciant à faire des plantations.

Au reſte, on peut voir, par cet expoſé, que c'eſt ici un expédient que l'on n'eſt en uſage d'employer qu'à l'extrémité & le long des berges excluſivement. Cependant il eſt aiſé de ſentir qu'on pourroit auſſi l'employer très-utilement dans l'intérieur du lit, en le combinant avec des paliſſades; ce qui conſtitue la ſeconde eſpèce de digues en bois dont nous allons parler.

Digues en paliſſades avec des arbres aux paremens. Fig. 37.

387. Le principal objet de ces digues eſt de détruire une branche ſecondaire & de la forcer à rentrer dans la branche-mère. Dans ce cas, leur direction n'eſt point arbitraire, mais elle eſt déterminée par les localités, ainſi qu'on va s'en convaincre.

Soit la rivière ABCD (fig. 37) qui, au point G, ſe partage en deux branches BEFG & CGHK, dont la première eſt la branche-mère. Si l'on examine attentivement la diviſion des rivières, on verra qu'il y a une ligne GD ſur laquelle les eaux ſont pour ainſi dire incertaines de quel côté elles ſe dirigeront, & où elles ne ſe verſent dans la branche GCHK, que parce que la berge DG ſouffre en cet endroit une ſolution de continuité. Ce n'eſt donc pas l'impulſion du courant qui les y pouſſe; elles n'y ſont entraînées que par un déverſement ou épanchement latéral : car le courant eſt établi entre AB & GD. Donc, ſi l'on conſtruit des ouvrages deſtinés à barrer la branche GCKH, ils éprouveront moins d'action, de la part du courant ſur la

ligne DG, que toute autre direction. Par conséquent, c'est suivant la ligne DG qu'il faudra les diriger.

Comme DG est réellement la ligne qui divise les deux branches, nous l'appellerons *ligne de division*.

388. La ligne de division étant connue & jalonnée par des piquets, on procédera à la construction de la digue de la manière suivante.

On plantera, suivant la direction de cette ligne, trois ou quatre rangs de pieux, plus ou moins, suivant la nature de la rivière, d'où dépend aussi leur grosseur. Cinq rangs nous ont suffi sur la Durance. Ils seront espacés d'environ deux pieds de centre à centre. Pour les planter, à peu de frais, on fait les trous qui doivent les recevoir, avec un pieu armé d'un sabot de fer.

Les pieux plantés, on en remplit les entre-deux de fascinages, qu'on charge de pierres & qu'on arrête par intervalles avec des pièces transversales. On a pareillement soin de garantir les deux paremens avec des branches d'arbres dont les tiges soient engagées dans le corps de la digue. Le pin est un des arbres les plus propres à cet objet, soit pour les branches de parement, soit pour les pieux; étant toujours ramé, ses branches détruisent plus efficacement l'action du courant, soit qu'elle s'exerce sur le parement antérieur, soit qu'elle ait lieu par la chûte sur le parement postérieur, lorsque, dans les grandes crues, la digue sera franchie.

L'expérience nous a appris qu'on pouvoit employer efficacement ce moyen sur la Durance dont on connoît la rapidité; &, d'après cela, nous pouvons en garantir le succès sur toute autre rivière.

389. Lorsque la rivière est peu considérable, on peut beaucoup simplifier ces sortes de digues en palissades, en employant des tresses ou clayonnages. Dans ce cas, il suffit de deux rangs de pieux, laissant entr'eux un intervalle d'environ 3 pieds. Digues en clayonnages.

Ces deux rangs ſeront treſſés en oſier, & l'entre-deux ſera rempli de gravier. Mais il ſera toujours très-prudent d'en garantir les paremens avec des branchages employés ainſi que nous venons de le dire.

Digues en *chevrettes* ou *chevalets*.

390. Suppoſons un arbre dont la tige ſe diviſe, au moins, en trois branches, & qu'on coupe cette tige & les branches à environ quatre ou cinq pieds du point de diviſion; on aura un ſolide fourchu, qu'on nomme *chevalet*, dans le département du Midi, & dans d'autres, *chevrette*. Suppoſons encore que ce ſolide ſoit le plus volumineux poſſible & d'une peſanteur ſpécifique ſenſiblement plus forte que celle de l'eau. S'il eſt jetté dans le courant, il deſcendra au fond, & l'irrégularité de ſa forme l'empêchera d'être entraîné. Bien plus, cette même irrégularité accrochera & arrêtera les brouſſailles, les arbuſtes & tout ce que la partie correſpondante du courant entraînera. Enfin, lorſqu'il ſera ſurmonté par les eaux, il occaſionnera des affouillemens dans leſquelles il s'enfoncera de manière à ne pouvoir plus être déplacé (208).

L'on voit par-là qu'une digue formée en *chevalets* ou *chevrettes*, réunit de très-grands avantages; elle ne peut être ni renverſée ni entraînée; les affouillemens l'enracinent & la fortifient; elle peut, à volonté, changer la direction du courant ou produire des atterriſſemens ſuivant ſa diſpoſition.

On emploie ces ſortes d'ouvrages ſur les rivières les plus rapides, telles que la Durance, la Haute-Loire, &c.; il eſt malheureux qu'on n'en puiſſe pas faire un uſage plus fréquent. Deux obſtacles s'y oppoſent: 1°. Il y a peu d'arbres de groſſeur dont le bois ſoit ſpécifiquement plus peſant que l'eau. 2°. Parmi ces arbres, on en trouve peu qui aient la forme requiſe pour *chevrettes*. Ajoutons à cela que cette forme donne ordinairement les pièces courbes qui entrent dans la conſtruction navale, & qu'il eſt eſſentiel de ne pas prodiguer, ſur les rivières, des

pièces qui, eu égard à la rareté des bois relatifs à cet objet, peuvent être infiniment utiles à l'état.

391. Si nous faisions une chevrette en charpente, celle par exemple qui est désignée par la fig. 38, représentant deux tétraëdres opposés au sommet, & que nous y employassions la même qualité de bois que pour les chevrettes naturelles, il est visible qu'elle produiroit le même effet. Bien plus, en lui donnant plus de branches que n'en a ordinairement la chevrette naturelle, l'effet n'en seroit que plus grand & plus assuré. Dans ce cas, il suffira d'avoir des pièces droites de grosseur, & de les assembler convenablement, en les employant sans aucun apprêt & telles qu'elles viennent de la forêt. Il n'en coûteroit de plus que la main-d'œuvre qui seroit amplement compensée par la moins value des bois & par la facilité des transports. Nous n'avons pas expérimenté ce moyen, mais nous pensons que rien ne s'oppose à sa réussite.

Comment on pourroit construire des chevalets factices. Fig. 38.

392. Allons plus loin. Construisons ces chevrettes artificielles, avec des bois spécifiquement plus légers que l'eau; mais au centre, pratiquons en planches des cellules que nous remplirons de gravier, & que nous fermerons ensuite, lorsque le systême sera devenu spécifiquement plus pesant : ces planches seront en outre utiles pour consolider l'assemblage. On sent, au premier abord, qu'une pareille chevrette ne sera pas plus entraînée que les précédentes, & qu'elle produira encore le même effet : or, dans ce cas, on peut employer toute sorte de bois, & sur-tout le pin, qui a l'avantage de ne pas se corrompre dans l'eau, & qui est ordinairement fort commun le long des rivières dont la pente est considérable.

Simplification dans les constructions des chevalets factices.

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turcies.

Cas où l'on emploie les levées.

393. Si une rivière a été réduite, & que les propriétaires riverains se soient avantagés aux dépens de son lit, il arrive souvent que, dans ses crues, elle franchit les bords qu'on lui a assignés, & qu'elle inonde le plat-pays : alors, pour la contenir & l'empêcher de s'extravaser, on construit, du côté où elle peut se répandre, des chaussées, qu'on appelle aussi *levées* ou *turcies*. Ainsi, l'objet des levées est d'empêcher les inondations dans le tems des crues.

Qualités requises dans les levées.

394. D'après cela, les propriétés des levées, pour remplir cet objet, sont :

1°. D'avoir l'épaisseur nécessaire pour résister à la poussée des eaux;

2°. D'être supérieures aux plus hautes eaux de la rivière.

3°. Que le glacis, du côté de l'eau, ne puisse pas être dégradé.

4°. Enfin qu'il n'y ait aucune filtration.

Couronnement & talus des levées.

395. L'épaisseur de la digue au couronnement peut se réduire à rien (340), puisqu'elle n'essuie que la pression des eaux qui, dans cette partie, est nulle. Cependant on est dans l'usage de donner au moins 3 pieds de largeur au couronnement & même davantage lorsque les rivières sont considérables. Quant à l'épaisseur de la base, elle dépend du talus. Celui de 45 degrés seroit suffisant. Nous avons vu bien des endroits où il n'excède pas ce terme. Cependant on ne peut pas disconvenir que, plus il sera grand, moins il sera sujet à se dégrader. Ainsi nous croyons que le talus des levées devroit être au moins d'un & demi sur un de hauteur.

396.

396. Le couronnement des levées doit être assez élevé pour n'être pas franchi par les eaux: car un simple filet qui s'extravaseroit, auroit bientôt creusé, sur la dernière, un profond ravin qui en entraîneroit la rupture (106). En cela il ne faut pas être minutieux, & il vaut mieux pécher par excès que par défaut, sur-tout lorsque les rivières sont considérables; d'autant mieux que, d'une part, les levées se tassent toujours, & que de l'autre, des circonstances particulières peuvent considérablement enfler les eaux. C'est ce qui arriva au Rhône en 1755. Ce fleuve éprouva à cette époque une crue très-forte; dans le même-tems, le vent du midi souffla avec violence, &, retardant la vîtesse des eaux, il en enfla tellement le volume que toutes les levées d'Arles & de Tarascon furent franchies.

Hauteur des levées.

397. Les glacis, du côté des eaux, pour n'être pas dégradés dans les crues, ont besoin d'être fortifiés par un péré. On sent bien qu'il ne faut ni un péré en dalles, ni un péré en blocaille, & qu'un petit péré suffit, à moins que le lit ne soit excessivement rétréci; auquel cas la levée ne mériteroit plus ce nom, mais plutôt celui de digue.

Péré des levées.

Le moyen de mettre le péré lui-même à l'abri de l'action des eaux dépend de la situation de la levée. Si elle est au bord même de la rivière, nous avons vu (366) qu'on ne pouvoit garantir & soutenir le péré que par un pilotage. Si au contraire elle en est à une certaine distance, il suffira d'établir la base de ce péré à 2 ou 3 pieds de profondeur de fondation.

398. Dans le cas où les levées ne sont pas au bord de l'eau, comme dans plusieurs endroits, sur le Rhône, à Arles & à Tarascon, on peut forcer la rivière à les fortifier par des dépôts. Soient la rivière ABCD (fig. 39) & la levée EF. Construisons, par intervalles & perpendiculairement à la direction du courant, les épis triangulaires HKG, LMN, PQR. Ces épis seront en terre & pavés. SVT en est la coupe longitudinale sur la ligne EG & X'YZ' en est la coupe transversale sur la ligne XZ. La distance KL ou MP d'un

Moyen de forcer les rivières à fortifier les levées.

épi à l'autre pourra être au moins de 400 toises, lorsque la pente de la rivière sera d'environ 4 pouces sur 100 toises. Or il est visible, d'après cela, que les eaux, dans le tems des crues, seront mortes & stagnantes dans l'intervalle des épis, & que, par conséquent, elles y déposeront jusqu'à ce que le glacis soit parvenu à la hauteur des crêtes des épis.

399. Si la levée éprouvoit des filtrations, elle seroit perdue; car les eaux filtrées, en tombant le long du talus postérieur, ne manqueroient pas de le dégrader (106). D'où il suit que la levée ne peut être qu'en terre bien battue.

Moyen d'empêcher le percement des levées de la part des taupes, &c.

400. Il n'arrive que trop souvent que les rats, les taupes, &c. percent une levée, & produisent, ce qu'en certains endroits, on appelle *des renards*. Ces événemens sont d'autant plus dangereux qu'on ne peut pas y remédier. Car, s'il survient une crue, les eaux s'ouvrent un passage, par ce renard, qui ne peut être bouché qu'intérieurement. Or c'est ce qui est alors impossible.

On ne peut obvier à cet inconvénient que lors de la construction. Pour cela il seroit à propos de pratiquer, au noyau de la levée, & dans toute sa longueur & sa hauteur, une cloison en briques placées de champ les unes sur les autres; avec cette précaution, on n'auroit plus à craindre que la levée fût percée d'un talus à l'autre, puisque l'animal, arrivé à la cloison, se trouveroit arrêté par un corps incorrosible.

ARTICLE IX.

Résumé général des Digues précédentes.

401. De tout ce que nous avons dit dans les huit articles précédens, on doit déduire les conséquences suivantes.

Usage des digues perpendiculaires.

402. Les digues perpendiculaires à la direction du courant & destinées à exhausser le lit de la rivière, par des encombremens en limon, qui non-seulement fortifient les ouvrages, mais encore, puissent sous le moins de tems possible, être rendus à

l'agriculture ; ces digues, disons-nous, doivent être construites en terre ou gravier, ainsi qu'il a été dit (344 & 349). Elles doivent particulièrement être employées sur les rivières qui ont un lit trop large & qu'on veut réduire à sa juste étendue. Mais elles ont essentiellement besoin d'une autre digue solidement construite à leur about, du côté de la rivière, dans une direction qui leur soit perpendiculaire ou parallèle à celle du courant, & dont la partie d'amont soit beaucoup plus longue que celle d'aval (329 & 338). C'est cette dernière digue que nous nommons *éperon*.

Usage des digues à pérés.

403. Les digues à pérés, soit en dalles, soit en blocaille, peuvent être employées suivant toutes les directions possibles, parallèles, obliques & perpendiculaires à celle du courant. Mais leur véritable destination est pour les deux premières directions, puisque la perpendiculaire est particulièrement affectée aux digues en terre ou gravier, ainsi que nous venons de le dire. Etant sujettes aux affouillemens, elles ont essentiellement besoin d'être défendues par des bermes ; & ces digues ainsi que les bermes, doivent être construites comme il a été dit aux n. 351 & 365 respectivement. Ces digues sont particulièrement destinées aux éperons qui doivent défendre les digues perpendiculaires en terre ou gravier. Elles peuvent aussi être très-utilement employées à la construction des chemins le long des rivières, ainsi qu'il a été dit (358). On peut pareillement s'en servir avantageusement pour prolonger, dans les ponts, les murs en aîles.

404. Les digues à petits péres ne peuvent guères, faute de bermes, être employées qu'à des levées ou turcies. Si néanmoins on faisoit le péré en bâtisse, ainsi qu'il a été dit (367), on pourroit aussi les employer pour éperons aux abouts du côté de la rivière dans les digues en terre ou gravier, perpendiculaires au courant.

Usage des digues à pierres sèches.

405. Les digues à pierres sèches, soit en pierre d'échantillon,

ſoit en blocaille, ne peuvent être ſolidement conſtruites que d'après la réforme preſcrite aux n. 371, 372, 374 & 375 reſpectivement. Elles ſont plus coûteuſes que les digues à pérés en dalles ou en blocailles qui, pour cette raiſon, doivent leur être préférées. Cependant, on pourra les employer utilement lorſqu'il s'agira d'établir la priſe d'eau d'un canal auquel les eaux ne puiſſent pas manquer, & qui ne ſoit pas expoſé, pendant les crues, à être encombré par les graviers : nous en avons déjà dit un mot au n. 321.

Uſage des digues en maçonnerie.

406. Les digues en maçonnerie & parementées, ſoit en pierres de taille, ſoit en moëllons, préſentent beaucoup de frais, ſans aucun avantage, ſur les digues précédentes. Auſſi ne doit-on les employer que lorſque les circonſtances & les localités l'exigent impérieuſement.

Uſage des digues en gabions.

407. Les digues en gabions ne peuvent être regardées que comme un ouvrage éphémère. Quoique peu coûteuſes, lors de la conſtruction, elles le deviennent beaucoup à la ſuite des tems, par les réparations continuelles qu'elles entraînent après elles. Elles ne peuvent ſervir que pour arrêter momentanément les ravages du courant, & pour donner le tems de faire des ouvrages plus durables. Du reſte on pourra les conſtruire conformément à ce qui a été dit (379 & 381).

Uſage des digues par encaiſſemens.

408. Après les digues en maçonnerie, parementées en pierres de taille, il n'y a pas d'ouvrage qu'on puiſſe établir plus ſolidement ſur les rivières, que les digues par encaiſſemens. Soit que les encaiſſemens ſoient à pierres ſèches, ſoit qu'ils ſoient maçonnés, ces digues ſeront toujours moins coûteuſes que celles parementées en pierres de taille ; auſſi leur deſtination naturelle eſt d'être placée ſur les courans qui ont beaucoup de rapidité, tels que les torrens-rivières & même les torrens proprement dits. Leur direction peut être telle qu'on voudra & que les circonſtances exigeront. On pourra, dans tous les cas, être aſſuré du ſuccès, en ſe conformant à ce que nous avons dit aux n. 382 & 383.

409. Les revêtemens des berges avec des branches d'arbres produisent presque toujours leur effet, qui est d'arrêter les corrosions du courant sur ces berges. Ainsi, dans un cas d'urgence, il est très-prudent d'y avoir recours (385).

Usage des digues avec arbres.

410. Les digues composées de palissades & de branches d'arbres ont un avantage plus étendu. On peut les employer avec succès dans le lit des rivières, & sur-tout pour détruire leurs divisions en plusieurs branches. On ne pourroit guères s'en servir pour éperons, à cause des affouillemens. On pourra les employer sur les grandes rivières, quelque soit d'ailleurs leur rapidité, en ayant égard à ce que nous avons dit à ce sujet (387 & 388).

Usage des digues avec arbres & palissades.

411. L'usage des palissades tressées ou en clayonnages est le même que celui des précédentes. La seule différence qu'il y a, c'est que celles dont nous parlons ne peuvent être employées que sur de petites rivières, ainsi qu'il a été dit (389).

Usage des digues en clayonnage.

412. Les digues à chevalets ou à chevrettes sont des meilleurs ouvrages qu'on puisse employer sur les rivières, pour en modifier le courant, y produire des atterrissemens, &c. Ainsi nous ne saurions trop en recommander l'usage; sur-tout, qu'on essaye de construire des chevalets factices, même avec du bois plus léger que l'eau, conformément à ce que nous avons dit (391 & 392). Il en résulteroit, dans une infinité de cas, la plus grande économie & les plus grands avantages.

Usage des digues en chevrettes ou à chevalets.

413. Les levées ou turcies ne peuvent aucunement être employées dans le lit des rivières, mais seulement aux bords, pour en contenir les eaux pendant les crues. Du reste, nous avons exposé (395 & 400) les précautions qu'il y avoit à prendre pour les soustraire à tout accident.

Usage des levées ou turcies.

Après avoir détaillé les divers moyens qu'on peut employer pour modifier ou détruire l'action des courans d'eau, il nous reste à voir la manière de s'en servir pour réduire le lit des rivières.

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier, & des Torrens-Rivières.

A quel problême se rapporte la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

414. LA réduction du lit des rivières à fond de gravier dépend de la solution de ce problême : *Faire en sorte que le courant n'ait que la largeur nécessaire à l'écoulement de ses eaux, dans le tems des plus fortes crues, & qu'il soit obligé de creuser & d'approfondir son lit, en exhaussant les côtés par des dépôts, non de gravier, mais de limon, qui puissent être rendus à l'agriculture sous le moins de tems possible ; employer, à cet effet, les travaux les plus simples & les plus économiques, & les disposer de manière que le courant, loin de les dégrader, les fortifie, au contraire, par des atterrissemens.*

Nous allons résoudre ce problême par les principes que nous avons établis dans ce qui précède ; mais auparavant nous poserons les suivans :

Principes fondamentaux pour la réduction du lit de ces rivières.

415. 1°. *Le lit d'une rivière doit être en ligne droite sur le plus long espace possible.* La chose est évidente, & elle est une suite naturelle des principes établis au n. 105. 1°.

2°. *Il doit, par conséquent, avoir le moins de sinuosités possibles, & ces sinuosités doivent être les plus ouvertes possibles.* Ce n'est encore-là qu'une suite du principe du n. 105. 1°.

416. Suppoſons à préſent qu'il s'agiſſe de réduire une rivière qui ſerpente dans l'eſpace du lit majeur ABCDEFGHIKLMN (fig. 40).

Manière d'opérer cette réduction. Fig. 40.

1°. On déterminera d'abord (221), par l'obſervation des eaux des plus fortes crues, la largeur à donner au lit réduit.

2°. Par la même obſervation, on déterminera auſſi la plus grande profondeur des eaux de la rivière dans le courant réduit, &, par-là, la hauteur des digues à conſtruire (344).

3°. On fixera auſſi l'intervalle à mettre entre deux rétréciſſemens conſécutifs, intervalle qu'on déduira des obſervations mentionnées au n. 212, en obſervant que la corroſion, en amont d'un rétréciſſement, s'étend d'autant plus loin que la rivière a moins de pente (210), & faiſant de plus attention qu'il eſt plus prudent de rapprocher les rétréciſſemens que de les trop éloigner.

4°. Ces préalables fixés, on tracera, dans le lit majeur, un polygone OPQRSTVX tel que, paſſant par les points O & X, ſes côtés ſoient les plus longs & ſes angles les plus obtus poſſibles. Le pourtour de ce polygone ſera la *directrice* ou l'axe du courant réduit.

5°. On conſtruira deux autres polygones ſemblables, l'un inſcrit, l'autre circonſcrit, dont les côtés ſoient éloignés de ceux du polygone primitif, de la moitié de la largeur à donner au courant réduit. Ce ſera ſur ces côtés qu'on établira les digues de rétréciſſement.

6°. On conſtruira les digues de rétréciſſement 1, 1; 2, 2; 3, 3; &c. égales & correſpondantes de chaque côté de la directrice & aux diſtances déterminées (3°); elles ſeront à péré de dalles ou de blocailles, ou à petits pérés maçonnés; &, dans leur conſtruction, on ſe conformera à ce qui a été dit, à leur ſujet, dans l'article II du §. précédent. Ces digues ſerviront en même-tems d'éperon, & on leur donnera la longueur relative à la na-

ture de la rivière, longueur dont nous avons parlé plus haut (336 & 338).

7°. Enfin, derrière ces éperons & perpendiculairement à la directrice, on conſtruira les digues 4,4; 5,5; 6,6; &c. en terre ou gravier, conformément à ce qui a été dit dans l'article I du §. précédent.

Nous diſons que cette manière d'opérer donnera la ſolution du problême du n. 414. En effet:

1°. Le courant n'aura que la largeur néceſſaire au paſſage des eaux des plus fortes crues (221).

2°. Il ſera obligé de creuſer & d'approfondir ſon lit (210, 212, 219 & 220).

3°. Il exhauſſera en même-tems les côtés par des dépôts (323 & 326).

4°. Ces dépots ne feront pas en gravier, mais en limon qui, ſous peu de tems, pourra être rendu à l'agriculture (325 & 326).

5°. Les travaux que nous avons employés ſont les plus ſimples & conſéquemment les plus économiques. Car, outre qu'ils ne ſont pas continus (320), mais ſeulement par intervalles, ils ne ſont qu'en terre & gravier, & n'ont de la pierre qu'aux pérés (article I & II du §. précédent).

6°. Enfin le courant eſt obligé de les fortifier par des atterriſſemens (323 & 326).

Donc c'eſt cette manière de procéder qu'il faut adopter pour la réduction du lit des rivières à fond de gravier.

Nous allons à préſent entrer dans quelques détails qui ſe rapportent à ce ſyſtême de réduction.

Les digues des angles doivent être briſées. Fig. 40.

417. Prolongeons la partie OP de la directrice juſqu'en X. Comme, en cet endroit, il y a une ſinuoſité, la digue perpendiculaire correſpondante ne pourra pas former une ſeule ligne droite, mais ſeulement une ligne briſée 7, 8, dont la première partie ſera perpendiculaire à OPX & la ſeconde à PQ. On traitera

traitera de la même manière les digues perpendiculaires aux autres ſinuoſités.

418. Si les terreins adjacens ont été gagnés ſur le lit de la rivière & qu'ils ne ſe ſoient formés que dès dépôts, il arrivera ſouvent, qu'au commencement de la réduction, les eaux, dans le tems des crues, s'élèveront au-deſſus du niveau de ces terreins. Dans ce cas, pour empêcher qu'elles ne s'extravaſent, en attendant que le courant ait creuſé ſon lit, on les contiendra par des levées dont le couronnement aura environ 3 pieds de largeur & ſera de niveau avec celui des digues perpendiculaires. Quant à leur parement, il ſuffira qu'il ſoit gazonné: car, les eaux devant y être ſtagnantes (324), il eſt viſible que ces levées n'éprouveront aucune action & n'auront conſéquemment pas beſoin d'être fortifiées comme celles dont nous avons parlé à l'article VIII du §. précédent.

Levées de précaution à conſtruire dans certains cas.

419. *Le courant, ainſi réduit, doit néceſſairement ſuivre la directrice, ſans s'écarter ni à droite ni à gauche entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car 1°. les éperons 1, 1, le dirigeront vers le rétréciſſement des éperons 2, 2; &, par le principe du n. 105. 1°. Il doit ſe porter ſur cette direction. 2°. Cette route eſt plus courte que toute autre qui s'écarteroit d'un côté ou de l'autre de la directrice. Donc la pente y ſera plus forte, &, par le principe du n. 105 2°. le courant doit s'y diriger.

Le courant ne déviera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs. Fig. 40.

420. *Le courant ne doit pas ſe diviſer entre deux rétréciſſemens conſécutifs.* Car, d'une part, les côtés s'exhauſſent par des dépôts, &, de l'autre, le milieu s'abaiſſe par la corroſion. Or (105. 3°.) les eaux tendent toujours vers les endroits les plus bas.

Le courant ne ſe diviſera pas entre deux rétréciſſemens conſécutifs.

421. *Le courant changera de direction aux angles de la directrice en décrivant des lignes courbes.* La choſe a été démontrée au n. 229.

Le courant décrira des courbes aux ſinuoſités.

422. *Le courant creuſera ſon lit ſur toute la partie de ſon cours où l'on aura conſtruit des rétréciſſemens.* Cela a été démontré aux

Le courant creuſera ſon lit par-tout ou il aura été rétréci.

n. 219 & 220. Il n'y auroit que le cas où le fond feroit incorrofible en quelque endroit où le lit feroit coupé par une barre tranfverfale de rocher. Alors il n'y auroit qu'à atténuer cette barre par l'action de la poudre, & laiffer au courant le foin d'en entraîner les débris. Mais, en général, c'eft ce qu'on a peu à craindre dans les rivières dont nous parlons, ainfi qu'on peut s'en convaincre par l'expérience & par ce que nous avons dit au n. 154.

Moyen d'accélérer les atterriffemens.

423. Nous avons dit (339) que les atterriffemens latéraux formeront des glacis dont la pente fera dirigée vers le courant: à mefure qu'ils commenceront à fe former, il fera très-prudent d'en complanter, d'arbres aquatiques, la partie baffe; par-là, on les accélérera, &, dans le tems, ces mêmes arbres ferviront de rempart aux domaines qui réfulteront de ces atterriffemens.

Cas où il y a des montagnes d'un côté du lit de la rivière.

424. Lorfque la rivière fe trouve bornée, d'un côté, par des montagnes, quoiqu'elles ne fe dirigent pas en ligne droite, il eft à propos de s'en fervir comme de digues naturelles & de fixer le courant à leur pied. Dans ce cas la réduction en deviendra plus fimple, puifqu'il fuffira de faire des ouvrages d'un feul côté.

Cette méthode s'applique auffi aux lits finueux.

425. Cette méthode s'applique auffi aux rivières dont on veut abaiffer le lit fans le redreffer; car la propriété des rétréciffemens, de forcer le courant à corroder le fond, eft indépendante de fa direction.

Comment on doit opérer lorfque la rivière fe partage en diverfes branches. Fig. 41.

426. Soit A'B' (fig. 41.) la directrice de réduction du lit majeur LMPN d'une rivière ABCD qui fe partage en deux branches au point E. Pour pouvoir travailler fans obftacle, par le moyen des chevalets (390 & 392), ou d'une digue en paliffade telle que celle du n. 388, fi la rivière eft volumineufe, ou telle que celle du n. 389, fi elle n'eft pas confidérable, on jettera la branche CEFG dans la branche BEKH, & l'on conf-

truira à ſec la digue ST & l'éperon QR : on pourra même, ſuivant les circonſtances, conſtruire auſſi l'éperon VX & partie de la digue YZ, juſqu'à la rencontre de la branche BEKH. Cela fait, on détruira la digue, & avec les mêmes matériaux on fermera la branche BEKH, pour la jetter dans le lit CEFG : alors les eaux deviendront ſtagnantes ſur la partie NTSQ ; le courant s'établira dans l'étranglement QRXV, & l'on finira la digue YZ à ſec.

Dans ces rivières, les rétréciſſemens doivent commencer en amont.

427. Faut-il commencer la réduction du lit en aval ou en amont ? Si on commence en aval & qu'on pouſſe les ouvrages en remontant, la corroſion s'étendant plus loin en amont du rétréciſſement qu'en aval (211), ſi la rivière ſerpente ſupérieurement, & qu'il faille en changer le lit, d'après ce que nous venons de dire au n. précédent, l'opération en deviendra plus difficile par la profondeur de la corroſion qui y aura déjà eu lieu. Cette difficulté, au contraire, ne ſe rencontreroit pas ſi l'on commençoit les travaux en amont, & qu'on les continuât en deſcendant, à cauſe que la corroſion s'étendant moins loin en aval, le déplacement, ſoit de la rivière entière, ſoit de quelque branche ſéparée, en deviendroit plus aiſé. Ainſi, pour la réduction des rivières dont nous parlons, les travaux doivent être commencés en amont & continués en deſcendant.

Nous verrons que ce doit être le contraire dans les rivières qui ne charient que du ſable & du limon.

Application de cette méthode aux torrens-rivières.

428. Il eſt viſible que cette théorie s'applique auſſi à la réduction du lit des torrens-rivières, ſur-tout lorſqu'ils approchent de la nature de la rivière proprement dite ; car alors les rétréciſſemens l'obligeront à creuſer ſon lit ſur toute la partie de ſon cours où l'on en aura conſtruit.

Utilité de cette méthode pour la conſtruction des chemins dans les pays de montagnes.

429. Ce genre de réduction peut beaucoup favoriſer la conſtruction des chemins dans les pays de montagnes. On ſait que, dans ces pays, on ne peut guères établir des chemins de

roulage que dans le lit des rivières : par notre système, on produiroit le double avantage de gagner un terrein précieux, & d'établir des routes sûres & d'une pente extrêmement douce.

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de sable & de limon.

La réduction des rivières à fond de sable & de limon, doit être renvoyée à la navigation.

430. Nous avons déjà remarqué (246) que dans les rivières à fond de sable & de limon, il n'y avoit point de différence entre le lit majeur & le lit mineur : par conséquent, ce n'est pas pour gagner du terrein qu'on entreprend d'en réduire le lit, mais seulement pour donner une plus grande profondeur d'eau à la rivière, & y faciliter la navigation. Il seroit donc inutile de traiter ici ce sujet, qu'il paroît plus à propos de renvoyer à la troisième partie, dans laquelle nous parlerons de la navigation des rivières.

SECTION III.

Usage des principes précédens dans la construction des Ponts sur les Rivières à fond de gravier.

431. NOTRE objet n'est pas de donner ici un traité *ex-professo* sur la construction des ponts : cette tâche glorieuse est reservée aux ingénieurs des ponts & chaussées, qui ont illustré la France par divers chefs-d'œuvres en ce genre, dont les anciens, ni les modernes n'ont pas même approché. Quant à nous, il nous suffira d'indiquer, d'après les principes que nous avons établis, les moyens d'économie dont cette partie essentielle des

travaux publics eſt ſuſceptible ſur les torrens-rivières & ſur les rivières à fond de gravier.

Applications des principes précédens à la conſtruction des ponts ſur les rivières à fond de gravier.
Fig. 42.

432. Soit ABCD (fig. 42) le lit majeur d'une rivière EFGH ſur laquelle il faut conſtruire un pont KL, dont on a déterminé la ſomme des ouvertures & le nombre d'arches, d'après ce que nous avons dit ſupérieurement (221). Nous ſuppoſerons que cette détermination donne trois arches : ſi la rivière eſt conſidérable, comme par exemple la Durance, l'Isère, &c.; ſur la directrice MN choiſiſſons la ligne PQ, telle qu'en cet endroit le lit mineur ſoit établi du côté d'une des berges AB, & qu'il laiſſe de l'autre côté une largeur RQ aſſez étendue pour qu'on y puiſſe conſtruire à ſec les piles, les culées, les arches, & généralement tous les ouvrages d'art relatifs au pont. Si, au contraire, la rivière eſt peu conſidérable, on pourra toujours, par quelqu'un des moyens preſcrits à l'article VII du §. II, la réduire à ce point; on le pourra même par des chevalets, ſur les rivières telles que la Durance, &c. Alors on conſtruira le pont KL, les ailes ST & VX, la chauſſée d'avenue LQ, & la partie KR de la chauſſée correſpondante KP, juſqu'à la rencontre de la rivière EFGH. Cela fait, on changera le lit de la rivière par le moyen de chevalets (390 & 392) ſi elle eſt conſidérable, ou par le moyen des digues en paliſſades (388 & 389), & on portera le courant vers la berge DC, pour finir la chauſſée d'avenue KP.

Dans cette conſtruction, la longueur des digues en ailes ST, VX ſera déterminée d'après ce que nous avons dit aux n. 336 & 338, & la hauteur des chauſſées d'après le n. 344, & d'après la montée du pont.

Il eſt viſible qu'une pareille conſtruction ſimplifiera beaucoup les travaux, ainſi qu'on peut s'en convaincre par les obſervations ſuivantes.

1°. Tous les ouvrages ſeront conſtruits à ſec, ainſi que nous l'avons dit. Conſéquemment on évitera tous les batar-

deaux dont on eſt obligé de ſe ſervir quand on conſtruit dans l'eau.

2°. Les chauſſées d'avenue ſerviront elles-mêmes de digues perperdiculaires (324 & 333), & les digues ou murs en ailes en feront les éperons (329). Or, ſi l'on n'adoptoit pas ce ſyſtême, on ſeroit obligé de conſtruire, dans tous les cas, les chauſſées d'avenue & de donner aux digues en ailes une longueur aſſez conſidérable pour s'attacher obliquement aux berges AB & CD; ce qui ſeroit beaucoup plus coûteux.

3°. Si les digues en ailes ST & VX étoient obliques à la direction du courant, elles le porteroient ſouvent ſur les bajoyers des piles & des culées: au lieu qu'étant parallèles, elles ne produiront pas cet effet.

Ainſi, par cette conſtruction, qui ſe rapporte en tout point à notre ſyſtême de réduction de lit de rivière à fond de gravier, on réunira trois grands avantages. 1°. On n'exécutera que le moins d'ouvrage poſſibles; 2°. on les exécutera de la manière la plus économique; 3°. on pourra conſtruire des ponts à pluſieurs arches avec plus de facilité aux endroits les plus larges qu'aux endroits les plus étroits.

Simplification du prolongement des murs en ailes en amont.

433. Les digues en ailes ſervant de ſuite & de prolongement aux murs en ailes du côté d'amont, pourront donc n'être que des digues à péré, ſoit de dalles, ſoit de blocaille, ſoit enfin de bâtiſſe; car elles ne ſeront pas plus fatiguées par le courant que les éperons de rétréciſſemens dans la réduction du lit d'une rivière (416).

Obſervations ſur la poſition de la ſurface du radier.

434. Si l'on barre le lit de la rivière par un radier tranſverſal au droit des murs en ailes d'aval, le couronnement de ce radier fixera en amont le fond du lit & empêchera le courant d'affouiller au-deſſous de ce fond, ainſi qu'il a été dit au n. 215. Par conſéquent le radier mettra tous les ouvrages én amont à l'abri de tout accident de la part des affouillemens. Mais, en même-tems, il faut éviter les chûtes ou cataractes qu'il pour-

roit produire, si son couronnement étoit trop haut (213 & 214); ce qui nuiroit & au radier lui-même & à la navigation ou à la flottaison. Ainsi ce couronnement doit être nécessairement placé à la profondeur de la corrosion que le courant exercera sous le pont.

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaison des Rivières.

Définition de la navigation, du hallage & de la flottaison des rivières.

435. SI une rivière peut être remontée à la voile, elle est dite *navigable*. Or on sent que, pour cela, la vîtesse de l'eau & conséquemment la pente de la rivière doit être déterminée, & qu'il en est de même de sa profondeur.

Lorsque la profondeur de l'eau est très-petite, ou qu'étant compatible avec la navigation, la vîtesse ou la pente est trop considérable pour remonter à la voile, on effectue cette remonte par le moyen des chevaux qu'on attelle & qui traînent le navire en suivant le bord de la rivière. C'est ce qu'on appelle *hallage*.

Si la rivière n'a pas assez de profondeur d'eau pour la navigation, & cependant qu'elle en ait assez pour voiturer des radeaux, elle est dite *flottable*.

Conséquences qui en résultent:

Pour la navigation.

436. De la définition de la navigation, il suit:

1°. Que lorsqu'une rivière est navigable, si l'on augmente la profondeur de ses eaux, on augmente sa navigation.

2°. Que, par l'augmentation de profondeur, on rendra navigable une rivière qui ne sera que hallable ou flottable, pourvu que sa pente soit relative à la navigation.

Pour le hallage.

437. De la définition du hallage, il suit que le hallage deviendra d'autant plus facile qu'on diminuera davantage la pente de la rivière.

Pour la flottaison.

438. De la définition de la flottaison ou flottage, il suit qu'une rivière deviendra d'autant plus flottable que la profondeur de ses

ſes eaux augmentera davantage. Par conſéquent en augmentant cette profondeur, on pourra auſſi :

1°. Rendre flottables ſans interruption les rivières qui ne le ſont que pendant une partie de l'année.

2°. Rendre flottables, au moins pendant quelques mois, pluſieurs rivières qui ne le ſont point du tout.

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

439. LA *forme des carènes des navires qui naviguent ſur les rivières dépend de la profondeur d'eau des navires.* Cela eſt naturel : car ſi ces rivières, ſoit par leur nature, ſoit par les marées, ont une grande profondeur d'eau, il n'y a point de raiſon pour exiger que les navires qui y entreront, aient des carènes différentes de celles des vaiſſeaux qui naviguent en pleine mer. Mais ſi, au contraire, les eaux y ſont peu profondes, les navires doivent, dans ce cas, avoir une forme de carène applatie qui s'adapte à cette profondeur.

La forme des carènes des navires à voile, dépend de la profondeur des eaux de la rivière.

Nous en avons un exemple dans les navires des rivières qui ont leur embouchure dans l'Océan, & dans ceux des rivières qui ſe jettent dans la Méditerranée. Les premiers ſont les mêmes que ceux qui ne voguent que ſur mer, à moins que quelque barre ne s'y oppoſe. Les autres, au contraire, ont preſque tous la carène applatie.

440. Le navire, qui remonte une rivière à la voile, a beſoin de ſurmonter, à chaque inſtant, l'action que les eaux du courant exercent, par leur vîteſſe, ſur ſa proue. Plus cette action ſera grande, plus le navire aura de difficulté à la ſurmonter. Or nous avons vu (178 & 179) que la courbe, formée par

La navigation à la voile ſur les rivières a un terme.

le fond d'une rivière, est assymptotique; que les élémens ont toujours plus de pente en remontant, & (170) que la force de l'eau augmente avec cette pente. Donc ce navire arrivera à un point où l'action du vent sur ses voiles sera en équilibre avec celle du courant sur sa proue, & où par conséquent il ne pourra plus remonter.

La chose est d'ailleurs prouvée par l'expérience; car toutes les rivières navigables ne peuvent être remontées à la voile que jusqu'à une certaine hauteur, quoique d'ailleurs elles aient profondeur d'eau.

Quel est ce terme?

441. Quel est le terme au-delà duquel un navire à la voile ne peut plus remonter? On sent que la solution de cette question dépend de diverses considérations. 1°. Le vent qui enfle les voiles peut être plus ou moins fort & plus ou moins direct; 2°. il peut aussi, suivant sa direction, retarder plus ou moins la vîtesse des eaux du courant. Cependant nous pouvons dire, qu'en général, cette remonte peut avoir lieu jusqu'à une certaine distance en amont du point où la rivière cesse de charier du gravier, & que le terme de la navigation est à l'endroit où la pente est d'environ 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 100 toises.

C'est là ce que l'expérience nous apprend; car sur le Rhône, les navires ne peuvent guères remonter au-dessus de Beaucaire. Or, 1°. le fleuve cesse de charier du gravier à environ 3000 toises en aval; 2°. à la hauteur de Beaucaire, sa pente est de 3 pouces $\frac{1}{2}$ sur 100 toises à très-peu de chose près.

Toutes les rivières à fond de sable ou de limon, & qui ont une profondeur d'eau convenable, sont navigables à la voile.

442. Il résulte de-là que *toutes les rivières à fond de sable ou de limon sont navigables à la voile, pourvu qu'elles aient d'ailleurs la profondeur d'eau convenable à cet objet;* car (176) la pente d'une rivière augmente ou diminue avec la grossièreté des matières du fond, & (170) il en est de même de la force du courant; donc cette force sera moindre aux endroits où le fond sera en sable ou limon, qu'à ceux où il sera en gravier. Or le Rhône, à la hauteur de Beaucaire, est encore navigable à la

voile, en remontant, quoiqu'en cet endroit le fond soit en gravier. Donc, à plus forte raison, le sera-t-il aux endroits où le fond sera seulement en sable & limon. Par conséquent, on doit conclure, pour toutes les rivières, que si elles ont profondeur d'eau, elles seront navigables par-tout où le fond sera sable ou limon.

Les rivières à fond de gravier le sont aussi, lorsque leur pente n'excède pas 3 pouces ½ sur 100 toises.

443. Il résulte encore de-là que *si, à l'endroit où une rivière cesse de pouvoir être remontée à la voile, on diminue sa pente en amont & qu'on la rende moindre que 3 pouces 6 lignes sur 100 toises, elle redeviendra navigable;* car, en diminuant sa pente, on diminuera sa vîtesse & sa force, & l'action du courant, sur la proue, ne balancera plus celle du vent sur les voiles.

Moyen de rendre navigable une rivière qui a trop de pente.

444. On peut employer, d'après cela, deux moyens pour proroger la navigation sur une rivière qui cesse d'être navigable par excès de pente. Le premier consiste à barrer son lit par un déversoir (185 & 186). Cet ouvrage, en diminuant la pente du lit, diminue aussi la vîtesse & la force de la rivière. Le second est de dériver supérieurement les eaux de la rivière, par un canal dont la pente soit au-dessous de 3 pouces ½ sur 100 toises. Mais on sent que, dans l'un & l'autre cas, il y aura des chûtes, & qu'il faudra les racheter par des écluses.

De ces deux moyens, le premier n'est admissible que dans le cas où une rivière est bornée, de chaque côté, soit par un rideau de côteaux, soit par des berges assez hautes pour ne pouvoir pas être franchies. Le second, au contraire, est absolument indépendant de ces conditions, & peut très-avantageusement être employé dans tous les cas possibles.

La navigation à la voile exige une certaine largeur.

445. La navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières, pour pouvoir avancer, par la plupart des vents, en variant la position des voiles. Cependant nous voyons, par expérience, que les Hollandois naviguent, sur leurs canaux, quoique fort étroits en comparaison du lit des rivières, avec la même facilité que les Français sur la Seine, prise au-dessous de

Rouen. Par où il paroît, qu'étant plus expérimentés que nous dans ce genre de navigation, c'est chez eux que nous devons former des nautonniers, si jamais nous entreprenons de réalifer, en France, le magnifique projet de la navigation intérieure, projet agité depuis long-tems, auquel les localités se prêtent infiniment, & dont l'exécution ne laisseroit rien à desirer pour la prospérité nationale.

Elle exige aussi que les sinuosités ne soient pas trop dures.

446. La navigation, à la voile, exige encore que les sinuosités ne soient pas trop dures; car si elles sont trop fortes, il est possible que l'air de vent qui auparavant étoit favorable, devienne contraire. Ainsi, les replis tortueux d'une rivière, telle, par exemple, que la Seine, qui semblent souvent la faire rétrograder ou la ramener sur elle-même, doivent être regardés comme un obstacle qui peut en gêner plus ou moins la navigation. Cependant nous verrons plus bas que cet obstacle n'est pas insurmontable.

Les dépôts aux embouchures nuisent plus à la navigation sur la Méditerranée que sur l'Océan.

447. Nous avons vu, au n. 270, que le limon, charié par les rivières, en se déposant à l'embouchure, formoit des barres dans l'Océan & des isles dans la Méditerranée. Ces dépôts sont très-nuisibles à la navigation; car tant les barres sur l'Océan, que les isles naissantes (272) sur la Méditerranée, diminuent la profondeur des eaux & forment souvent des écueils très-dangereux; mais ils sont infiniment plus nuisibles dans la Méditerranée que dans l'Océan; car la marée ayant régulièrement lieu sur l'Océan, on sent que, pendant la marée montante, ces dépôts sont ordinairement couverts d'une assez grande profondeur d'eau pour que les navires puissent les franchir sans toucher: au lieu que la Méditerranée n'ayant point de marée, on n'a pas la même ressource.

L'expérience confirme cette assertion. Quoique toutes les rivières qui se jettent dans l'Océan contiennent des barres à leur embouchure, on voit néanmoins que les vaisseaux ont la facilité d'y entrer à marée haute. Le Rhône, au contraire, qui

s'évacue dans la Méditerranée, quoiqu'avec un volume d'eau plus considérable que celui de la plupart des autres rivières de la France, ne peut recevoir que des navires qui tirent seulement 4, 5, & 6 pieds d'eau.

D'autre part, la multiplicité des isles qui se forment à l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, divise le fleuve en plusieurs branches. Chacune de ces branches perd une partie de ses forces &, facilitant (271) les dépôts, la profondeur des eaux doit y diminuer continuellement, au lieu que la même cause n'a pas lieu sur l'Océan.

448. *Les isles répandues sur le cours des rivières en gênent aussi la navigation;* car les isles, en partageant le courant en plusieurs branches, diminuent la largeur, la force & par-là même, la profondeur des eaux, étant visible que la diminution de force facilite les dépôts.

Les isles dans le lit des rivières, en gênent aussi la navigation.

On en a des exemples dans les isles qui sont sur la Seine, la Loire, &c. On a constamment remarqué que ces isles sont très-pernicieuses à la navigation.

449. *La trop grande largeur des rivières est un obstacle à la navigation*; car, dans la section du courant, la profondeur des eaux est en raison inverse de la largeur. Donc la largeur d'une rivière ne peut augmenter qu'aux dépens de la profondeur des eaux: d'où il suit que, si une rivière navigable étend son lit, la profondeur des eaux y diminuant, la navigation y sera gênée.

La trop grande largeur du lit nuit à la navigation.

450. D'après ce que nous avons dit, au n. 447, on voit qu'il est impossible d'assurer la navigation à l'embouchure des rivières qui se jettent dans la Méditerranée. En effet que, pour éviter les dépôts, la formation des isles & la division en plusieurs branches, on resserre le lit de la rivière par des digues qui soient poussées, si l'on veut, jusques bien avant dans la mer, on n'anéantira pas pour cela le limon que le courant charie; ce limon continuera d'être entraîné & (11) s'arrêtera à l'endroit

Impossibilité de détruire les dépôts à l'embouchure des rivières de la Méditerranée.

où il y aura équilibre entre l'action du courant & la résistance des eaux de la mer, c'est-à-dire, aux environs de la nouvelle embouchure. Ainsi la difficulté ne sera pas détruite, mais seulement déplacée.

La navigation à l'embouchure des rivières dans la Méditerranée, exige essentiellement un canal.

451. Le seul moyen d'éviter les mouvemens inséparables de l'embouchure des rivières, dans la Méditerranée, est un canal de navigation particulière qui, communiquant avec le fleuve, pris à une certaine distance en amont de son embouchure, aboutisse à la mer, prise à un endroit où l'on n'ait pas à craindre les dépôts auxquels on veut se soustraire. Il seroit même à propos, si la chose étoit possible, que ce canal ne fût alimenté que par des eaux claires, pour éviter les effets des encombremens, pourvu toutes fois qu'on pût le mettre à sec pour les récuremens & les réparations; alors on seroit assuré d'une navigation constante & indépendante des variations qui ont continuellement lieu aux embouchures dont nous parlons.

Canal de Marius à l'embouchure du Rhône.

452. Il paroît que les Romains avoient ainsi vu la chose, relativement à la navigation à l'embouchure du Rhône; car, quoique leurs galères ne prissent pas beaucoup d'eau, cependant Marius construisit un canal particulier qui probablement partoit d'Arles, mais qui certainement passoit à Foz, dont le nom n'est qu'un corruptif de *fossa*. D'ailleurs, un ingénieur de notre connoissance, qui avoit été chargé, il y a plusieurs années, de faire exécuter un canal de communication entre la mer & l'étang de l'Estomach qui est à Foz, nous a assuré avoir découvert, pendant l'exécution de cette entreprise, les vestiges de ce canal qui, vraisembablement, aboutissoit à la mer, au pied de la colline de la *Lecque*, en-deçà du port de *Bouc*.

Nouveau canal projetté pour la même embouchure.

Ainsi, par la connoissance que nous avons des localités, nous croyons pouvoir assurer que jamais on ne viendra à bout de fixer, par d'autres moyens que par un canal semblable, la navigation à l'embouchure du Rhône. Ce canal peut être facilement alimenté, ou par celui des Alpines, ci-devant *Boisgelin*,

ou par le Vigueyrat & le canal de *Vuidanges*. Dans tous les cas, il doit communiquer avec le Rhône, pris à Arles, & aboutir au pied de la colline de la *Lecque*, pour arriver de-là au port de *Bouc*, ce qui eſt indiſpenſable. On ne peut pas tourner cette colline à cauſe des fondrières : il ſeroit très-coûteux de la couper, à cauſe qu'elle a environ 1200 toiſes d'étendue & 52 pieds de hauteur au point culminant. On peut lever toutes ces difficultés en conduiſant, au ſommet de la colline, un canal qui porteroit environ 20 pieds cubes d'eau par ſeconde ; ce canal ſeroit dérivé de la branche de celui des Alpines qui arroſe le Crau ; il ſeroit ſoutenu le long du penchant des collines qui ſéparent les étangs de *Lavaldue* & *d'Engrenieu* ; & ceux de *Citis* & du *Poura* ; &, arrivé au haut de la Lecque, il formeroit une retenue qui alimenteroit quatre écluſes de chaque côté de la colline. Ce ſeroit par le moyen de ces écluſes qu'on franchiroit la colline de la Lecque, pour paſſer, ſans coupement, du port de Bouc dans le canal, & réciproquement.

Nous avions communiqué ce projet aux ci-devant Etats de Provence, en 1787, & on le trouvera, ainſi que pluſieurs autres dont nous leur avions pareillement donné connoiſſance, dans le cahier de leurs délibérations pour la même année. Nous avons même encore les minutes des plans que nous avions dreſſés à ce ſujet par ordre de l'adminiſtration du ci-devant pays de Provence.

Impoſſibilité d'anéantir les barres à l'embouchure ſur l'Océan.

453. Les difficultés expoſées au n. 450 s'oppoſent auſſi, & par les mêmes raiſons, à la deſtruction des barres à l'embouchure de l'Océan. Toutes les digues qu'on établira, pour contenir le courant & lui donner plus de force, ne ſerviront qu'à les déplacer pour ſe reproduire plus loin. La barre de l'Adour à Bayonne, & les ouvrages qu'on y a conſtruits inutilement, pour la détruire, en font une preuve convaincante. Heureuſement, comme nous l'avons dit ci-deſſus (447), ces barres ſont beaucoup moins préjudiciables à la navigation ſur l'Océan,

que ſur la Méditerranée; ſans cette conſidération, il faudroit auſſi recourir aux canaux dont nous venons de parler (452).

On doit barrer les branches des rivières navigables.

454. Puiſque (448) la diviſion des rivières, en pluſieurs branches, eſt un obſtacle à la navigation, il eſt viſible que, pour rendre la navigation libre & aiſée, il faut détruire ces branches & les réduire, autant qu'il ſera poſſible, en une ſeule. Le courant, ainſi réduit, donnera plus de profondeur d'eau & permettra moins les obſtructions & les encombremens. Nous avons vu (387 & 388) la manière d'opérer ces barrages.

Cas où dans ce barrage, il faut laiſſer un canal.

455. Il y a néanmoins des cas où les iſles formées par ces diviſions, ſont très-étendues, & où les branches à barrer étant fort longues, & d'ailleurs plus ou moins navigables, favoriſent le commerce de diverſes communes riveraines. Ces branches ne pourroient être totalement barrées ſans nuire à ces communes. Dans ce cas, la juſtice & le bien public exigent que les barrages ne s'effectuent qu'en partie, & qu'on laiſſe toujours paſſer un certain volume d'eau dans le lit de ces branches barrées, pour tenir lieu de canal de navigation. Ce volume d'eau étant conſidérablement diminué, on ſent que la largeur du lit de la branche, ainſi fermé, doit diminuer dans la même proportion, par les encombremens latéraux qu'il ſera aiſé d'y produire, en employant la méthode preſcrite aux n. 414 & 427. Or, les dépôts des rivières navigables ne donnent que des terreins de la première qualité & dont le bénéfice dédommagera, toujours avec uſure, des dépenſes de réduction.

On doit réduire les rivières navigables, quand leur lit eſt trop large.

456. Lorſqu'un excès de largeur du lit forme obſtacle à la navigation, on ſent qu'en détruiſant cette cauſe, on détruit l'effet qui en réſulte. Ainſi, la raiſon dit qu'en pareil cas, il faut réduire le lit de la rivière & ne lui donner que la largeur néceſſaire à la navigation, &, en même-tems, diſpoſer les ouvrages de manière qu'ils ſoient les moins coûteux poſſible, & que les eaux, lors des crues, puiſſent paſſer librement. Or, on réunira toutes ces conditions, en ſe conformant au mode

preſcrit

prescrit aux n. 414 & 417. Nous allons, à cet effet, entrer dans les détails convenables à l'importance du sujet.

Détermination de la largeur à donner aux rétrécissemens.

457. Supposons qu'on veuille augmenter la profondeur des eaux d'une rivière dans les tems ordinaires. Nous avons vu (211 & 212) qu'en rétrécissant le lit, on obligeoit le courant à creuser, & (217) que la profondeur de la corrosion est assez généralement, en raison inverse de la largeur qu'on donne au lit rétréci. Tout dépend donc de la largeur du rétrécissement qu'on déterminera par la proportion suivante : *La profondeur à donner aux eaux est à leur profondeur actuelle, comme la largeur actuelle du lit est à celle à donner au rétrécissement.* Par conséquent, si l'on ne donne au lit rétréci que la largeur exprimée par ce 4e. terme, on sera assuré d'avoir la profondeur d'eau demandée. D'ailleurs, la chose est évidente : car, à cause de l'uniformité de vîtesse de la surface au fond, qui (103) a particulièrement lieu dans ces rivières, il est visible que la masse, étant supposée constante, la profondeur doit être en raison inverse de la largeur.

Au reste, en rétrécissant ainsi le lit d'une rivière, on n'a pas à craindre le gonflemeut des eaux, puisque (217) l'abaissement du fond, par la corrosion, sera égale à la hauteur du gonflement qui auroit lieu sans corrosion. Par conséquent, les eaux ordinaires se remettront à leur niveau : il n'y auroit que le cas où le fond, par sa dureté ou sa tenacité, ne pourroit pas être corrodé ; mais alors on auroit recours au moyen indiqué au n. 422.

Les rétrécissemens ne seront construits que par intervalles ; manière de les opérer.

458. Pour que les ouvrages soient les moins coûteux possible, il ne faut pas qu'ils soient continus. C'est pour cette raison, qu'après avoir fixé, par la méthode prescrite au n. précédent, la largeur à donner au lit, aux rétrécissemens, on n'effectuera ces rétrécissemens que par intervalles, conformément à ce que nous avons dit au n. 416 ; sur quoi on doit observer :

1°. Que ces rivières n'ayant pas de lit majeur (246), on ne peut point, dans leur réduction, les diriger, en ligne droite, sur le plus long espace possible, ainsi que nous l'avons prescrit pour les rivières à fond de gravier; mais qu'il suffit de les réduire dans leur lit habituel; car (425) la corrosion du fond & conséquemment, l'augmentation de profondeur des eaux seront les mêmes dans l'un & l'autre cas.

2°. Que ces mêmes rivières ayant moins de pente que celles à fond de gravier (248), l'intervalle, entre deux rétrécissemens consécutifs, y sera plus grand à proportion (210). Par conséquent, pour réduire une rivière navigable sur une étendue déterminée, il faudra moins de rétrécissement que si la rivière étoit à fond de gravier.

3°. Que la réduction du lit qui (427), dans les rivières à fond de gravier, doit commencer en amont & être continuée en descendant, exige ici d'être commencée en aval & continuée en remontant; car l'effet de la corrosion s'étendant plus en amont qu'en aval, & le lit étant invariable, un rétrécissement quelconque facilitera l'établissement des rétrécissemens suivans en amont.

Différence entre la réduction d'une rivière à fond de sable ou de limon, & celle d'une rivière à fond de gravier.

459. Il y a encore une différence essentielle entre la réduction d'une rivière à fond de gravier & celle d'une rivière à fond de sable ou de limon; différence de laquelle dépend le libre passage des eaux de ces dernières pendant les crues. Nous avons vu (233) que, dans les rivières à fond de gravier, le couronnement des digues devroit être supérieur à la superficie des plus hautes eaux. La raison en est, que l'objet de ces digues, placées perpendiculairement au courant, est de le fixer à un endroit déterminé, supposé d'ailleurs assez large pour suffire au passage des plus fortes eaux, &, par-là, de gagner du terrein sur le lit majeur. Mais dans les rivières à fond de sable, si les digues transversales des rétrécissemens étoient élevées au-dessus des plus hautes eaux, il en résulteroit, sur-tout dans le prin-

cipe, des gonflemens très-considérables & dont les effets pourroient souvent être funestes, jusqu'à ce que le fond eût été convenablement corrodé.

Pour éviter cet inconvénient, les éperons ne doivent être élevés qu'à la hauteur de la surface des eaux d'équilibre (84). Quant aux digues transversales, leur couronnement se terminera en glacis incliné vers le courant & se raccordera, d'une part, avec celui des éperons, & de l'autre, avec les bords de la rivière.

Comme, dans les crues, les éperons seront sous les eaux, on indiquera le passage du courant ou celui des navires par des bouées ou signaux placés sur ces mêmes éperons, afin de les faire éviter.

460. Les ouvrages des rétrécissemens, quoique franchis par les eaux, pendant les crues, ne devant pas en être dégradés, il est nécessaire qu'ils soient construits en bois ou en pierre. Mais comme la construction en pierre seroit fort coûteuse, celle en bois paroît préférable. A cet effet, on emploiera des digues en palissades (388), en observant que les pilotis soient d'une grosseur proportionnée à leur longueur, qu'ils soient armés d'un sabot, enfoncés jusqu'à refus de mouton & solidement arrêtés entr'eux. Les ouvrages des rétrécissemens doivent être en bois.

461. Il y a des cas où l'on peut être obligé de ménager sur les ouvrages des rétrécissemens en chemin de hallage; alors la disposition des ouvrages doit éprouver un changement & être telle qu'il suit. Forme des ouvrages dans le cas du hallage. Fig. 43.

Soit ABCD (fig. 43) l'endroit à rétrécir sur le lit d'une rivière navigable. On construira, en pilotis, ainsi qu'il vient d'être dit (460), l'éperon FG & la digue GH, & on en garnira l'intérieur en tunages & en pierres, si la chose est possible. La digue EF, du côté d'amont, sera pareillement en pilotis, mais il n'y aura aucun emplissage, & elle sera à jour ou à claire

voie, pour permettre aux eaux de passer à travers les pilots & d'encombrer, par leurs dépôts, l'espace EFGH. Ce sera sur ces pilots, récépés de niveau sur FG, & en glacis sur EF & GH, ainsi qu'il a été dit (459), qu'on établira en madriers le chemin de hallage.

On fera la même chose sur l'éperon KL & les digues IK & LM respectivement, si l'on veut un chemin de hallage de chaque côté de la rivière.

Comment on garantira les ouvrages d'art des effets de la corrosion.

462. S'il se trouve, sur le lit de la rivière à réduire, des ouvrages d'art, tels que des ponts ou d'autres édifices quelconques, on doit, avant tout, en sonder la profondeur & la solidité des fondations. Dans tous les cas, on sent qu'avant d'opérer la réduction & de forcer le courant à corroder, la prudence exige qu'on en fortifie la base par de fortes bermes en pilotage, pour en garantir les fondations & les mettre à couvert de toutes dégradations.

Comment on franchira les ponts par la navigation à la voile.

463. Si l'on vouloit procurer la navigation à la voile à une rivière, qui auparavant n'eût joui que d'une navigation de hallage, & qu'il se trouvât des ponts sur son cours, les arches de ces ponts étant trop basses pour permettre le passage des navires mâtés, on leveroit la difficulté en pratiquant, au droit de ces mêmes ponts, des canaux d'environ 100 toises de longueur, plus ou moins, sur lesquels on construiroit des ponts-levis.

Avantages qui peuvent en résulter pour l'état.

464. C'est par ces moyens qu'on pourra augmenter, à volonté, la profondeur d'eau des rivières ; d'où il suit (436): 1°. qu'on augmentera la navigation des rivières qui déjà étoient navigables, & qu'on les mettra en état de recevoir des navires de plus grand port ; 2°. qu'un très-grand nombre de rivières de France, qui ne sont que hallables ou flottables par le défaut de profondeur d'eau, & qui n'ont que la pente relative à la navigation, pourroient devenir navigables.

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

465. D'APRÈS ce que nous avons dit au n. 435, le hallage a lieu dans deux cas; ſavoir: 1°. lorſque la rivière, ayant profondeur d'eau pour la navigation à la voile, ſa pente en eſt trop forte; 2°. lorſque cette pente, étant telle qu'elle doit être pour la navigation à la voile, la profondeur d'eau eſt inſuffiſante.

Conſidérations ſur le commencement du hallage & la forme des navires.

Dans le premier cas, nous pouvons dire que le hallage commence là où la navigation à la voile ceſſe d'être poſſible en remontant. Ainſi, en prenant le Rhône pour exemple, le hallage y commence à Beaucaire, parce que (441) c'eſt en cet endroit que finit la navigation à la voile.

Dans le ſecond cas, la forme des navires doit s'adapter à la profondeur des eaux; c'eſt-à-dire que moins il y aura de profondeur d'eau, plus la coupe horiſontale des navires doit être grande & leur profondeur petite. C'eſt pour cette raiſon que pluſieurs rivières de France, telles que la Seine & ſes affluens, en amont de l'endroit où la marée ceſſe d'être ſenſible, ne portent que des bateaux plats, fort longs & aſſez larges, mais peu profonds, qu'on fait remonter au hallage, à cauſe que cette forme n'eſt aucunement propre à la voile.

466. D'après le même n. 435, le hallage n'ayant lieu que par des chevaux de trait qui traînent le navire en ſuivant le bord de la rivière, il s'enſuit qu'il doit y avoir néceſſairement un chemin le long de la rivière, & que, du côté qu'on le placera, il ne doit y avoir ni arbre ni uſine qui puiſſe gêner ce genre de navigation. C'eſt ce chemin qu'on appelle *chemin de*

Il doit y avoir un chemin de hallage.

hallage, & qui même doit être continué ſous les arches extrêmes des ponts, comme on l'a pratiqué à Paris dans le magnifique pont de la Révolution.

Cas où il faut deux chemins.

467. Il arrive quelquefois que le hallage a lieu, non ſeulement en remontant la rivière, mais en la deſcendant. C'eſt lorſque la vîteſſe de la rivière n'eſt pas auſſi conſidérable que celle des chevaux de trait. Dans ce cas, il doit y avoir double chemin de hallage dont, l'un pour monter, & l'autre pour deſcendre: car on doit éviter la rencontre des convois de remonte & de deſcente.

Equation générale pour le hallage en montant & en deſcendant.
Fig. 44.

468. Soient la vîteſſe du courant ou l'eſpace qu'il parcourt dans une ſeconde $= v$; l'eſpace qu'un cheval parcourt dans le même tems $= v'$;

L'impulſion de l'eau ſur un pied carré avec une vîteſſe d'un pied par ſeconde $= m$;

Le nombre des chevaux de trait employés au hallage $= n$;

L'effort habituel d'un cheval $= f$;

La vîteſſe relative ou d'impulſion du courant ſur le navire ſera $= v' \pm v$, ſuivant que le navire remontera ou deſcendra.

Cela poſé, par les principes d'hydraulique, les impulſions de l'eau ſur la même ſurface, étant comme les quarrés des vîteſſes, on aura l'impulſion ſur un pied carré ou la réſiſtance que le courant oppoſera à cette ſurface, qui ſera $= m. \overline{v' \pm v}$

Soit ABCD (fig. 44) la coupe longitudinale d'un bateau de hallage dont la face CD reçoit l'impulſion de la part du courant EFGH, ſous l'angle EKM. Menons du point E la ligne EM perpendiculaire à CD prolongée. Suppoſons EK le ſinus total $= 1$, & nommons a la perpendiculaire EM qui ſera le ſinus de l'angle d'impulſion.

Menons pareillement CL perpendiculaire à EK. Elle ſera la projection de la partie CK de la face CD qui ſera choquée par le courant. Nommons cette projection f.

Par les principes de la méchanique de Bézout, n. 411, l'im-

pulſion de l'eau ſur un corps de figure quelconque eſt égale à celle qui auroit lieu ſur la projection de la ſurface choquée, multipliée par le carré du ſinus de l'angle d'incidence du fluide ſur cette même ſurface: par conſéquent, l'impulſion de l'eau ſur le navire, ou la réſiſtance qu'elle lui oppoſera, ſera la même que ſi elle s'exerçoit immédiatement & directement ſur ſa projection f multipliée par le carré du ſinus de l'angle d'incidence. Donc cette réſiſtance ſera $= ma^2 s. \overline{v' \pm v}^2$.

D'autre part, la force totale des chevaux de hallage ſera $= nf$.

Donc, puiſqu'il doit y avoir équilibre entre cette force & la réſiſtance des eaux, on aura l'équation $nf = ma^2 s. \overline{v' \pm v}^2$.

Dans cette équation on obſervera que dans le buiome $v' \pm v$, le ſigne $+$ eſt pour le cas de la remonte, & le ſigne $-$ pour le cas de la deſcente.

469. D'après les expériences du citoyen Boſſut, lorſque le fluide eſt défini, on a $m = \frac{7}{1} lb$, & lorſqu'il eſt indéfini, on a $m = \frac{7}{4} lb$. Cette différence vient, ainſi qu'on le ſent au premier abord, de ce que le navire ne peut avancer ſans pouſſer une maſſe d'eau qui eſt obligée de ſe porter ſur les derrières, pour y occuper le vuide que le navire y laiſſe. Or, dans ce paſſage elle éprouve d'autant plus de difficulté, que le navire laiſſe moins d'eſpace entre lui & les parois du canal dans lequel il ſe meut, & par-là même, elle réagit d'autant plus ſur lui. Le courant d'une rivière hallagée tient le milieu entre les fluides définis & les fluides indéfinis.

Si nous appliquons ce raiſonnement au hallage, on verra 1°. que le navire cotoie aſſez ordinairement la rivière; 2°. que le courant y ayant en général peu de profondeur, & celle du navire lui étant proportionnée (465), il doit reſter peu d'eſpace entre le fond de la rivière & le deſſous du navire; 3°. enfin qu'il n'y a que le côté oppoſé à celui du hallage où le courant ne ſoit point gêné; par conſéquent on peut dire, que dans

le hallage des rivières, le courant n'eſt ni défini ni indéfini, & qu'on doit y avoir $m > \frac{7}{6}\,lb$ & $< \frac{7}{3}\,lb$.

Ainſi en attendant que, par de nouvelles expériences, on ait réſolu la queſtion, nous croyons qu'on doit prendre la moyenne arithmétique entre ces deux réſultats, &, en conſéquence, dans l'application que l'on fera de l'équation précédente, ſuppoſer $m = \frac{21}{12} = \frac{7}{4}\,lb$.

Quelle eſt la force & la vîteſſe d'un cheval.

470. On ſait d'ailleurs que la force modérée d'un cheval eſt de 175 *lb*, lorſque ſa vîteſſe eſt de 3 pieds par ſeconde. Cependant on ſent que ces quantités peuvent varier; car ſi l'on augmente le nombre de chevaux, ſans augmenter la projection du navire, il eſt viſible que la force qu'exercera chaque cheval diminuera, & que, par conſéquent, la vîteſſe de l'attelage augmentera.

Formules pour le hallage en montant.

471. L'équation que nous venons de donner, nous fournit la ſolution de toutes les queſtions qu'on peut propoſer ſur le hallage. Appliquons-là d'abord au cas de la remonte, nous aurons:

1°. $n = \frac{ma^2 s}{f}\,\overline{v' + v}^2$.

Cette formule nous fait voir que pour connoître le nombre de chevaux, il faut multiplier le quarré de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant, par la projection & le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion; diviſer le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par la quantité $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2 s}{n}\,\overline{v' + v}^2$.

D'où l'on conclud que pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant; diviſer le produit par le nombre de chevaux & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2\,\overline{v' + v}^2}$

C'eſt-à-dire que, pour connoître la projection, on multipliera

pliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux de l'attelage & on diviſera par la quantité $\frac{7}{4}$ multipliée par le quarré de la ſomme des vîteſſes de l'attelage & du courant, & par celui du ſinus de l'angle d'impulſion.

4°. $v' = -v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2 s}}$

Donc ſi l'on veut connoître la vîteſſe de l'attelage, on multipliera la force d'un cheval par le nombre de chevaux; on diviſera le produit par la projection multipliée par $\frac{7}{4}$ & par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion; on extraira la racine quarrée du quotient & on en retranchera la vîteſſe du courant.

5°. $v = -v' + \sqrt{\frac{nf}{ma^2 s}}$

Par conſéquent, pour avoir la vîteſſe du courant, on retranchera la vîteſſe de l'attelage de la racine quarrée de la formule précédente.

Formules pour le hallage en deſcendant.

472. En appliquant l'équation au cas de la deſcente, nous aurons les cinq formules ſuivantes.

1°. $n = \frac{ma^2 s}{f} \overline{v' - v}^2$

Cette formule nous fait voir que, pour avoir le nombre de chevaux, il faut multiplier par la projection le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & celui de la vîteſſe de l'attelage, diminuée de celle du courant, diviſer le produit par la force d'un cheval, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

2°. $f = \frac{ma^2 s}{n} \overline{v' - v}^2$

C'eſt-à-dire que, pour avoir la force d'un cheval, il faut multiplier la projection par le quarré du ſinus de l'angle d'impulſion & par celui de la vîteſſe du convoi, diminuée de celle du courant; diviſer le produit par le nombre de chevaux, & multiplier le quotient par $\frac{7}{4}$.

3°. $s = \frac{nf}{ma^2 \overline{v' - v}^2}$.

D'où l'on conclud, que pour avoir la projection, il faut mul-

tiplier la force d'un cheval, par le nombre de chevaux, & diviser le produit par la quantité $\frac{2}{3}$ multipliée par le quarré du sinus de l'angle d'impulsion & par celui de la vîtesse de l'attelage, diminuée de celle du courant.

4°. $v' = v + \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Donc on aura la vîtesse de l'attelage, en divisant par le quarré du sinus de l'angle d'impulsion, multiplié par la projection prise $\frac{2}{3}$ fois, le produit de la force d'un cheval par le nombre des chevaux, & en ajoutant à la racine quarrée du quotient la vîtesse du courant.

5°. $v = v' - \sqrt{\frac{nf}{ma^2s}}$

Par conséquent la vîtesse du courant se trouvera, en retranchant de la vîtesse de l'attelage la racine quarrée de la formule précédente.

Raisons pour lesquelles les rivières des pays de montagnes ne sont pas hallables.

473. Dans l'expression $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ de la résistance, lors de la remonte, on voit que plus v augmentera, plus la résistance s'accroîtra. Par conséquent, plus la rivière aura de vîtesse ou de pente, plus le hallage deviendra difficile. Et puisque (161 & 178) les rivières ont plus de pente dans les pays de montagnes, que dans les pays de plaines, il s'ensuit que le hallage sera d'autant plus difficile, que le pays sera plus montueux.

La chose est prouvée par l'exemple du Rhône, de la Haute-Loire & de la Garonne.

Dans quel cas on doit renoncer au hallage.

474. De-là on peut déduire le cas où le hallage doit être abandonné. En effet, l'objet du hallage est de faciliter les transports & d'économiser sur les frais des voitures. Or, plus la vîtesse du courant augmentera, plus la résistance $ma^2s.\overline{v'+v}^2$ deviendra forte, &, par conséquent, plus il faudra d'agens & de chevaux. Par toutes ces augmentations, on sent qu'il y aura enfin un terme où il sera indifférent pour les frais, que le transport se fasse par eau ou par terre, & au-delà duquel il sera

moins coûteux d'opérer ce transport par roulage, que par hallage. On trouvera ce terme de la manière suivante.

1°. On évaluera, par les formules du n. 471, le nombre de chevaux à employer & celui des agens & conducteurs, l'espace qu'ils pourront parcourir dans un tems déterminé & le nombre de jours qu'ils seront en route. D'où l'on connoîtra les frais de transport par le hallage.

2°. Le poids des marchandises étant censé connu, on évaluera facilement les frais de leur transport par le roulage.

3°. Si les frais, par eau, sont moins forts que par terre, il faut préférer le hallage. Il faudra même lui donner la préférence dans le cas de l'égalité, à cause que, dans ce cas, on procure des chevaux à l'agriculture & qu'on ne dégrade pas les routes. Mais lorsque les frais par eau sont sensiblement plus forts que ceux par terre, il n'y a plus à hésiter, & le hallage doit être abandonné.

C'est pour cette raison que jamais on n'a entrepris de hallage pour remonter certaines rivières très-rapides, telles que la Durance, &c.

Le hallage est facile sur les rivières des pays de plaines.

475. Dans l'équation générale $nf = ma's.\overline{v'+v}$, on voit aussi que, si la vîtesse v du courant diminue, le second membre diminuera aussi, & que, par conséquent, le premier membre subira la même diminution. D'où l'on conclud que le hallage de remonte deviendra d'autant plus facile, &, conséquemment, d'autant moins coûteux, que la vîtesse du courant ou sa pente (170) sera moins considérable. Donc, puisque (160 2°.) dans les pays de plaines, le fond n'est pas en gravier, & que, par conséquent (176), la pente y diminuera, le hallage y deviendra plus facile.

Ainsi les rivières des pays de plaines étant plus propres au hallage de remonte que celles des pays de montagnes, doivent procurer aussi de plus grands avantages au commerce. On en a

la preuve dans la comparaiſon qu'on peut faire de la Seine & de ſes affluens avec le Rhône.

Canaux latéraux à ſubſtituer aux rivières trop rapides.

476. Puiſqu'il eſt avantageux, pour le hallage, que le courant ait le moins de pente poſſible, il ſuit qu'on peut améliorer celui des rivières qui ont trop de rapidité, comme le Rhône, la Haute-Loire & la Garonne, en leur ſubſtituant des canaux latéraux dont la pente ſera telle qu'il conviendra de la leur donner pour faciliter les tranſports, & dont les chûtes qui en réſulteront ſeront rachetées par des écluſes. Ces ſortes d'ouvrages réuniront beaucoup d'avantages que n'ont pas les rivières dont nous parlons. Car, outre que la pente y ſera moindre, ils auront conſtamment la même profondeur d'eau, & le courant y aura toujours la même vîteſſe. D'ailleurs on y ſera à l'abri des accidens des crues.

Il eſt donc très-eſſentiel, pour le hallage de remonte, de ſubſtituer des canaux latéraux, aux rivières qui ont trop de rapidité. Ces canaux doivent être regardés comme des rivières artificielles ſubſtituées aux rivières naturelles, & qui n'ont aucun des inconvéniens de ces dernières.

Cas où l'on peut, par barrage, rendre hallable une rivière.

477. Si l'on ſuppoſe qu'une rivière, dont la pente eſt trop forte pour le hallage de remonte, ait des bords aſſez élevés pour ne pas faire craindre les inondations, on peut diminuer cette pente & faciliter le hallage en barrant, par intervalles, ſon lit par des déverſoirs (183 & 184). Dans ce cas, on produira des chûtes aux déverſoirs, & il faudra les racheter par des écluſes, ainſi que nous l'avons déjà dit au n. 444. Mais nous devons obſerver que ce moyen n'eſt praticable que ſur les petites rivières. Car, lorſque les rivières ſont conſidérables, les ouvrages ſeroient exceſſivement coûteux, & il vaudroit beaucoup mieux, ſous tous les rapports, leur ſubſtituer des canaux latéraux (476).

Dans quel cas on peut employer le

478. Reprenons l'équation fondamentale, & appliquons-là au

cas du hallage de descente. Nous aurons $nf = ma^2 s.\overline{v'-v}^2$. Dans cette équation, si v' est $= v$, on aura $v' - v = o$, & par conséquent, $nf = o$; ce qui nous fait voir, que si la vîtesse de l'attelage est égale à celle du courant, la force des chevaux sera inutile, & que celle du courant suffira.

hallage en descendant.

Si au contraire on a $v' > v$, alors $v' - v$ donnera une quantité positive, & nf aura une valeur déterminée. D'où l'on conclud que *le hallage, en descendant, exige que la vîtesse du courant soit moindre que celle des attelages.*

Si l'on supposoit $v' < v$, $v' - v$ seroit négative & supposeroit que l'attelage détruit une partie $= v'$ de la vîtesse du courant. Mais ce cas n'a jamais lieu.

479. Si la pente d'une rivière est compatible avec le hallage, mais que la profondeur des eaux y soit insuffisante, on pourra augmenter cette profondeur & rendre la rivière parfaitement hallable, en rétrécissant son lit par intervalles & en se conformant à ce que nous avons dit, à ce sujet, dans la section précédente.

Ce qu'il faut faire lorsque la rivière n'a pas assez de profondeur d'eau.

480. Il suit de là, que (475) toutes les rivières en pays de plaines, n'ayant qu'une pente propre au hallage, peuvent être rendues hallables lorsqu'elles ne sont pas flottables; &, qu'étant déjà hallables, le hallage peut y être considérablement augmenté, en recevant des barques qui prennent une plus grande hauteur d'eau.

Conséquence essentielle pour les rivières des pays de plaines.

Cette conséquence est essentielle pour une infinité de rivières de la France & en particulier pour plusieurs des affluens de la Seine.

SECTION III.

De la Flottaiſon des Rivières.

Cas où la rivière ne ſera que flottable.

481. SI une rivière n'a pas aſſez de profondeur d'eau pour les bateaux, mais qu'elle en ait aſſez pour les radeaux (435), ou ſi, ayant aſſez de profondeur pour les bateaux, elle a trop de pente pour le hallage (474), elle ſera ſeulement flottable.

Flottaiſon des radeaux.

482. La flottaiſon conſiſte à livrer à l'action du courant un aſſemblage de corps réunis ſous la forme de radeaux ou de trains de bois & à le laiſſer flotter ſur la ſurface des eaux qui l'entraîne. Par où l'on voit qu'il y a cette différence eſſentielle entre le hallage & le flottage: c'eſt que le premier ſe fait ordinairement en remontant & en s'oppoſant au courant, au lieu que le ſecond n'a lieu qu'en deſcendant & par l'action du courant.

Flottaiſon à *pièces perdues.*

483. Quelquefois le flottage ſe fait à pièces perdues. Cela arrive lorſque les pièces ne ſont pas aſſemblées en radeaux ou en trains. Dans ce cas, il eſt eſſentiel que les pièces ſoient ſpécifiquement plus légères que l'eau: car, ſans cette condition, elles ne ſurnageroient pas & deſcendroient au fond. Dans le cas, au contraire, où elles forment des radeaux, il faut que le ſyſtême péſe moins qu'un pareil volume d'eau. Par conſéquent, dans un radeau ou train de bois, il peut y entrer des matériaux plus peſans que l'eau, pourvu que le reſte compenſe cet excès de poids. C'eſt par cette raiſon, que les radeaux compoſés de bois légers, tel que le ſapin, peuvent ſervir à tranſporter diverſes marchandiſes plus peſantes.

Tout corps, ou ſyſtême de corps flottant, ne doit jamais toucher le fond.

484. Nous avons vu (439 & 465) que, dans les rivières navigables & flottables, la profondeur des eaux règloit celle

des navires. De même auſſi, dans les rivières flottables, la profondeur des eaux détermine la hauteur ſoit des radeaux, ſoit des trains de bois qu'on doit faire flotter. En général on peut regarder comme principe que *tout corps ou ſyſtême de corps, qui doit être tranſporté par le moyen des eaux, ne doit jamais toucher le fond.*

485. Il ſuit delà, que, puiſqu'il eſt avantageux qu'un radeau ou un train quelconque flottant, ait le plus de hauteur poſſible, il eſt auſſi avantageux *qu'une rivière flottable ait la plus grande profondeur d'eau poſſible.* En conſéquence, on doit faire enſorte d'augmenter cette profondeur, en détruiſant les obſtacles qui la diminuent.

Conſéquence qui en réſulte pour la flottaiſon.

486. *La trop grande largeur eſt nuiſible au flottage.* Car plus la largeur augmente, plus la profondeur des eaux diminue. Donc (484) les radeaux & les trains y auront moins de hauteur; ce qui (485) eſt déſavantageux.

Un lit trop large nuit au flottage.

487. *La diviſion d'une rivière en pluſieurs branches eſt un obſtacle à la flottaiſon.* La choſe eſt évidente. Car les branches priſes ſéparément auront moins de profondeur d'eau que ſi elles étoient priſes collectivement : d'ailleurs cela eſt prouvé par l'expérience.

Il en eſt de même : 1°. de la diviſion des rivières.

488. *La diminution du volume d'eau d'une rivière eſt pernicieuſe à ſa flottaiſon.* Car cette diminution en amène une dans la profondeur. C'eſt pour cette raiſon, que dans la ſaiſon des baſſes eaux, beaucoup de rivières ceſſent d'être flottables.

2°. De la diminution du volume d'eau.

489. *Les gros quartiers de pierre qui ſont arrêtés dans le lit d'une rivière* (208) *en gênent la flottaiſon.* Car ces pierres qui ſaillent au-deſſus du fond de la rivière, diminuent en ces endroits la profondeur des eaux, & forment, pour ainſi dire, des écueils dans le courant.

3°. Des gros quartiers de pierre.

490. *Les chûtes ou cataractes ſont contraires à la flottaiſon.* Soit ABCD (fig. 45) le fond du lit d'une rivière qui a une cataracte en BC. Lorſque le radeau E ſera arrivé à la chûte, il prendra

4°. Des chûtes ou cataractes.

la position F qui pourra lui faire toucher le fond & peut-être l'y faire échouer. Mais, dans tous les cas, sa position inclinée pourra nuire aux conducteurs & aux marchandises.

La flottaison exige : 1°. qu'on retrécisse le lit des rivières.

491. La première chose à faire pour assurer & faciliter la flottaison d'une rivière, est d'en rétrécir & d'en réduire le lit, suivant le systême que nous avons prescrit aux n. 414 & 428. Par ce moyen, 1°. la profondeur d'eau augmentera ; 2°. il n'y aura point de division ; 3°. on gagnera du terrein à l'agriculture.

2°. Qu'on atténue les gros quartiers de pierre.

492. Les pierres saillantes (489) doivent être atténuées à la poudre. Ainsi décomposées & divisées, les éclats seront entraînés par le courant, ou enterrés (208) dans le gravier. Mais, dans l'un & l'autre cas, ils ne gêneront plus la flottaison.

3°. Qu'on détruise les cataractes. Fig. 45.

493. Les cataractes doivent pareillement être détruites par l'action de la poudre. Ainsi, dans la figure 45, la partie ACB devroit être enlevée pour racheter la cascade BC, par le plan incliné AC, qui fait, avec la partie restante CD du lit, un angle ACD beaucoup plus obtus que l'angle BCD.

Avantages qui résulteront de ces opérations pour la flottaison.

494. En employant ces moyens, on voit :

1°. Qu'une rivière, qui souvent n'est pas flottable, soit par sa trop grande largeur, soit par les isles qui se forment dans son lit, quoiqu'elle ait d'ailleurs un volume d'eau suffisant, deviendra constamment flottable.

2°. Qu'il en sera de même d'une rivière dont le volume d'eau suffit au flottage, mais dont le lit est barré par des chûtes, ou obstrué par des rochers.

3°. Qu'une rivière, qui, par ses divisions, n'est flottable qu'une partie de l'année, peut le devenir sans interruption.

4°. Enfin qu'une rivière, qui n'étoit flottable dans aucun tems, peut le devenir pendant les mois pluvieux de l'année.

C'est ce que nous avions déjà dit en passant au n. 438.

Avantages qui en résulteront pour l'Etat.

495. En assurant ainsi la flottaison des rivières, il en résulteroit de très-grands avantages pour l'Etat, en effet :

1°.

1°. Les rivières dont nous parlons, ayant beaucoup de pente, sont toujours (160. 1°.) dans des pays de montagnes. Or c'est particulièrement des montagnes que nous viennent les bois de charpente, soit civile, soit navale; on pourroit donc se les procurer, avec bien plus de facilité, par le flottage, que par le roulage toujours fort difficile dans ces sortes de pays où les chemins manquent assez souvent.

2°. Par la même voie, l'exportation des ouvrages d'industrie & du superflu des denrées de ces pays se feroit à bien moins de frais par radeaux, ce qui seroit un avantage pour le commerce.

Cas où l'on doit substituer à la rivière un canal latéral de hallage.

496. Il y a néanmoins des cas où il est à propos de substituer à la flottaison d'une rivière, un canal latéral de hallage, tel que ceux dont nous avons parlé au n. 476. Si, par exemple, les deux extrêmes de ce canal peuvent être considérés comme deux points centraux qui réunissent chacun un commerce fort étendu, il n'y a pas à hésiter sur la construction d'un pareil canal. On pourroit, d'après cela, construire un canal de hallage latéral au Rhône depuis Genève jusqu'à Lyon. Car Genève seroit regardé comme l'entrepôt général des denrées & des marchandises de la Suisse & du Mont-Blanc; tandis que Lyon seroit celui des denrées & des marchandises de toute la France.

Mais lorsqu'il n'y a pas un certain équilibre entre les masses de commerce dont les deux points extrêmes sont susceptibles, un pareil canal ne doit jamais être entrepris. C'est pour cette raison qu'il seroit absurde de construire un canal de hallage latéral à la Durance, pour faire communiquer le département des Bouches-du-Rhône avec les départemens des Hautes & Basses-Alpes; car le premier doit être regardé, par rapport à Marseille, comme le centre d'un commerce immense, tandis que les deux autres, par leur situation & la nature des lieux, ne présentent rien qui mérite d'entrer en parallèle avec les avantages dont jouit le départe-

ment des Bouches-du-Rhône. Par conféquent il n'y auroit aucun échange qui valût la peine d'un canal auffi coûteux que le feroit celui dont nous parlons.

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

Principe d'après lequel on doit opérer pour la navigation intérieure.

497. DEPUIS long-tems on ne ceffe de parler de la navigation intérieure de la France. Mais jufqu'à préfent il paroît qu'on n'a pas encore précifé l'idée qu'on doit attacher à un pareil projet. Cependant il eft très-effentiel d'être d'accord fur la chofe avant de difcuter les moyens d'exécution. On ne nous faura donc pas mauvais gré de donner nos idées fur cet important objet, ainfi que fur tout ce que nous avons traité dans cet ouvrage; nous n'avons fur celui-ci en particulier qu'un feul principe dont nous ne nous éloignerons jamais. Ce principe confifte à *n'exécuter que les travaux d'abfolue néceffité & à employer les moyens les plus fimples & les moins coûteux.*

Avantages qu'a la France pour effectuer la navigation intérieure.

498. Il feroit peut-être difficile de rencontrer fur la furface du globe un pays plus favorifé par la nature, du côté des rivières. Les Alpes, les Pyrénées, les montagnes des départemens formant la ci-devant Auvergne, nous fourniffent le Rhône, la Garonne, l'Adour, la Loire & une infinité de rivières d'un ordre inférieur; tandis que les maffes élevées de la ci-devant Bourgogne & de la ci-devant Franche-Comté nous donnent la Seine, la Meufe, la Mofelle, la Saône &c. La plus grande partie de ces rivières fe dirigent de l'Eft à l'Oueft, & portent leurs eaux dans l'Ocean; quelques-unes fe dirigent du Sud au Nord. Le Rhône feul & fes affluens prennent leur direction du Nord au Sud & vont fe jetter dans la Méditerranée; par où l'on voit

que, par le moyen de toutes ces rivières, l'intérieur de la France peut communiquer avec l'Océan français, la mer d'Allemagne & la Méditerranée.

499. D'après ce que nous avons dit (45 & 51. 1°.), les rivières prennent leur source dans les montagnes. Leur lit pris depuis leur source jusqu'à la mer, forme (179) une courbe assymptotique ; c'est-à-dire que leur pente est à son *minimum*, à leur embouchure, & qu'elle augmente continuellement, en remontant vers leur source (178).

Les rivières sous le rapport des transports, ont trois parties remarquables.

Il arrive de là que les rivières, considérées relativement aux transports, ont trois parties remarquables.

La première de ces parties est celle où elles n'ont que le degré de pente requis par la navigation à la voile. Cette partie est aisée à distinguer, car (441 & 442) le fond ne contient que du sable & du limon. Si elle contient du gravier, sa pente ne doit pas excéder 3 pouces & demi sur 100 toises de longueur, & elle est toujours contiguë à la mer (103 & 251).

La seconde partie suit immédiatement la première, en remontant vers la source ; c'est celle dont la pente, augmentant au-delà de 3 pouces & demi sur 100 toises (441), imprime aux eaux un degré de vîtesse, & conséquemment un degré de force qui ne peut être surmonté que par le hallage. Or, physiquement, cette partie n'auroit pas de limites & absorberoit même la troisième dont nous allons parler, puisqu'à la rigueur, on peut indéfiniment augmenter le nombre des chevaux de trait : mais on doit les fixer moralement & par le parallèle des frais de transport par eau & par terre, conformément à ce que nous avons dit précédemment (474).

La troisième partie commence là où finit la seconde, & se propage en remontant jusqu'à la source. Elle est exclusivement affectée à la flottaison, à cause de la grande pente du lit (178) & de la rapidité du courant qui en est l'effet (170).

500. Nous avons dit (484) *que tout corps ou système de corps*

qui doit être transporté par le moyen des eaux, *ne doit jamais toucher le fond*. D'où il suit, qu'avec la pente relative à la navigation à la voile, au hallage & à la flottaison, il faut encore une certaine profondeur d'eau.

Nous avons vu (457 & 458) les moyens à employer pour se procurer cette profondeur dans la première partie du lit des rivières, & (479) que ces mêmes moyens sont applicables à la seconde partie. Quant à la troisième partie, nous avons dit (486) & 494) ce qu'il convenoit de faire pour le même objet.

501. Enfin nous avons dit (451), que par le moyen d'un canal, on éluderoit les obstacles inséparables de l'embouchure des rivières dans la Méditerranée (476); que le même moyen faciliteroit beaucoup le hallage dans la seconde partie du lit des rivières, & (496) qu'on pouvoit aussi, dans certains cas, employer le même moyen de canaux latéraux sur la troisième partie.

502. Supposons donc, 1°. que par les moyens cités (500 & 501), on perfectionne la navigation & le hallage de toutes les rivières de la France qui en seront susceptibles, tant par leur pente que par le volume de leurs eaux; 2°. que, dans le cas où le volume d'eau seroit insuffisant, on y supplée, soit par des canaux particuliers, soit par des déversoirs; 3°. qu'on substitue même le hallage à la flottaison par des canaux latéraux. Il est certain que, dans cette hypothèse, toutes les rivières de l'Etat auroient reçu tout le degré de perfection possible, relativement à la navigation intérieure; car il est visible qu'alors il n'y en auroit aucune qui ne pût être regardée comme un canal qui seroit, ou navigable à la voile, ou hallable.

Des grandes vallées de la France.

503. Nous avons vu (54) que les eaux pluviales avoient sillonné, de vallées, les continens & les isles. Ce sont les endroits les plus bas de ces vallées qui sont occupés par les rivières. La France en contient cinq de la première grandeur & plusieurs d'un ordre inférieur. Celles de la première grandeur sont les

les vallées du Rhin, du Rhône, de la Seine, de la Loire & de la Garonne. Les autres sont principalement celles de la Somme, de la Charente, de l'Adour, du Var. Enfin il y en a un grand nombre d'autres qui sont moindres que les précédentes & qui sont occupées par une foule de petites rivières dont nous venons de faire l'énumération. D'après le même n. 54, toutes ces vallées sont séparées les unes des autres par des chaînes de montagnes qui ont plus ou moins d'élévation, suivant les localités & les endroits où on les compare. Ce sont les crêtes ou lignes culminantes de ces chaînes qui forment la ligne de *marcation* de ces vallées.

En quoi consisteroit la navigation intérieure, prise dans toute son extension.

504. Tout étant donc préparé & mis dans l'état mentionné au n. 502, la navigation intérieure, prise dans toute son extension, supposeroit encore deux choses. La première seroit des canaux de communication entre deux vallées consécutives & adjacentes, qui franchissent, soit par des écluses, soit par des percemens souterreins, les chaînes des montagnes qui les séparent. La seconde seroit de faire pareillement communiquer, par les mêmes moyens, soit avec les rivières, soit avec les canaux dont nous venons de parler, les principales villes qui se trouvent sur les côtes, ou dans l'intérieur, & qui n'ont pas de rivières particulières.

Tel seroit le plan de la navigation intérieure, en mettant à contribution toutes les rivières que la nature nous a données, & tel est celui que bien des personnes, animées du bien public, se sont proposé. Nous ne pouvons pas nous dissimuler, en effet, que, si un pareil plan pouvoit recevoir son exécution, la France ne devînt l'état le plus florissant de l'univers: car les canaux si vantés, soit de la Chine, soit de la Lombardie, n'auroient rien qui pût en approcher. Mais ce n'est pas tout de faire des projets, il faut encore qu'ils soient exécutables. Nous allons donc examiner si celui dont il s'agit est susceptible d'exé-

cution; &, dans le cas de la négative, de quelle manière il doit être amendé pour pouvoir être exécuté.

Rapports sous lesquels le bien public exige qu'on envisage les projets.

505. Lorsqu'une compagnie financière entreprend un ouvrage, il faut que le produit annuel qu'elle en percevra, fournisse à tous les frais d'entretien & de régie, & que, de plus, elle trouve l'intérêt de ses fonds à un denier assez haut, pour que, dans un tems déterminé, elle puisse se rembourser de toutes ses avances & des intérêts ordinaires y relatifs, & qu'après cette époque, tout soit bénéfice pour elle : c'est le seul calcul qui serve de base à ses spéculations à cet égard, & elle n'en fait point d'autre. Le desir d'opérer la prospérité publique, motif qu'on ne cesse de mettre en avant suivant l'usage, n'y entre ordinairement pour rien; l'intérêt particulier en est seul le mobile. Au contraire, lorsque le gouvernement se charge de l'exécution d'un projet, l'intérêt public en est toujours l'ame & la cause première. Or, l'intérêt public peut alors être envisagé sous quatre rapports, savoir: 1°. Lorsque le projet est utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'état; 2°. lorsqu'étant circonscrit pour une contrée déterminée, il peut produire avec usure l'intérêt des fonds; 3°. lorsqu'il peut améliorer, soit le sol, soit le commerce d'un pays, & procurer à l'Etat une augmentation considérable de revenus, résultante des impositions tant directes qu'indirectes; 4°. enfin, lorsque le pays, supposé d'ailleurs très-circonscrit, étant mal-sain par des marais, le projet tendroit à y rendre l'air salubre.

Nous allons examiner successivement chacun de ces rapports.

Dans quels cas le gouvernement doit se charger de l'exécution de projets.

506. 1°. Lorsqu'un projet est utile au commerce de la généralité ou d'une grande partie de l'Etat, il n'y a aucun doute que le gouvernement ne doive prendre les moyens de l'exécuter; car l'objet d'un bon gouvernement doit être le bien général, & à défaut, celui du plus grand nombre.

2°. Lorſque le projet étant circonſcrit pour une contrée déterminée, il peut produire, avec uſure, l'intérêt des fonds; le gouvernement ne doit pas héſiter non plus à le mettre à exécution; car, dans ce cas, le gouvernement peut ſe regarder comme une compagnie financière qui a pour objet de placer avantageuſement ſes fonds. Or alors il en réſulte néceſſairement un bénéfice pour l'Etat.

3°. Le même avantage a également lieu pour l'Etat ſi, par l'amélioration, ſoit du ſol, ſoit du commerce d'une contrée, il en réſulte une augmentation de contributions, ſoit directes, ſoit indirectes, qui excède l'intérêt des fonds d'exécution. Par conſéquent il eſt viſible que l'Etat ne doit pas rejetter un projet de cette nature.

4°. Enfin, lorſqu'il s'agit de rendre ſalubre l'air d'une contrée, on ne peut pas mettre en problême ſi le gouvernement doit s'en occuper, quand même il placeroit ſes fonds avec perte, car nous ſommes tous membres de la grande famille de l'Etat. Or, ſi dans une famille il y a une partie ſouffrante, l'autre partie doit naturellement venir à ſon ſecours, & faire pour cela tous les ſacrifices que l'humanité exige.

Rapportons à préſent, à ces motifs, les diverſes parties qui doivent former l'enſemble du projet de la navigation intérieure telle que nous l'avons préſentée ci-deſſus (502 & 504).

507. La navigation de l'embouchure & de la première partie (499) de toutes les rivières déjà navigables, par le volume de leurs eaux, eſt ſans contredit un objet d'utilité générale, puiſque c'eſt par le moyen de ces rivières que les marchandiſes, venant de l'étranger, peuvent pénétrer dans l'intérieur, ſans verſement préliminaire. Ainſi, ſous ce rapport, la navigation des grandes rivières, telles que le Rhône, l'Adour, la Garonne, la Charente, la Loire, la Seine, la Somme & l'Eſcaut, doivent ſpécialement fixer l'attention du gouvernement; & comme il eſt très-intéreſſant, pour la proſpérité publique, d'économiſer

La navigation des grandes rivières doit fixer l'attention du gouvernement.

dans les frais de transport, il n'est pas douteux que l'Etat ne doive reculer, le plus qu'il sera possible, les limites de cette navigation, en augmentant la profondeur des eaux par les rétrécissemens prescrits dans la Ire. section.

Mais, dans ces opérations, on ne doit pas perdre de vue (445) que la navigation à la voile exige une certaine largeur de la part des rivières : d'où l'on doit conclure qu'une pareille tentative seroit inutile & déplacée sur un grand nombre de rivières d'un ordre inférieur, dont le volume d'eau est peu considérable, & auxquelles on ne pourroit procurer la profondeur requise par la navigation à la voile, sans retrécir le lit au-delà des bornes.

Une autre observation vient à l'appui de ce que nous disons. Nous avons vu (496) qu'il falloit établir des communications par eau entre les communes qu'on pourroit regarder comme des centres d'un commerce étendu. La plupart des grandes communes ont cet avantage. Or, elles sont ordinairement situées sur les rivières navigables dans la partie inférieure de leur cours. Par conséquent, l'intérêt du commerce exige que sur ces rivières, on pousse la navigation à la voile le plus loin possible (506 1°.).

Dans quel cas l'État doit favoriser le hallage des rivières, comme partie de la navigation intérieure.

508. Nous devons distinguer le hallage des grandes rivières dont nous venons de parler, du hallage des petites; & dans ce dernier, nous devons encore mettre une différence entre le hallage des rivières des pays de plaines, & celui des rivières des pays de montagnes.

Les grandes rivières ayant toujours un cours fort étendu (58), le hallage doit y être poussé le plus avant qu'il sera possible; & dans le cas où la pente seroit trop forte, il est à propos d'employer (476) des canaux latéraux convenablement soutenus, & dont les chûtes soient rachetées par des écluses. Cependant il n'en faudroit pas conclure qu'on doit porter ces canaux jusqu'à la source, car cette partie se trouvant ordinairement dans les montagnes

montagnes (55), nous verrons bientôt que de pareilles entreprises y seroient de la plus grande inutilité : ainsi, à cet égard, le hallage doit se terminer à la dernière commune cenrrale de commerce, ou au canál qui fait communiquer cette rivière avec celle de la vallée voisine (504). Par où l'on voit que sur les grandes rivières, le hallage, tel que nous venons de le décrire, mérite d'être pris en considération par le gouvernement (506. 1°.).

Le hallage des petites rivières des pays de plaines mérite aussi une attention particulière de la part du Gouvernement, & cela, par les raisons suivantes. 1°. Ces rivières (160. 2°. & 175) ayant peu de pente, leur lit servira de canal. 2°. L'augmentation de profondeur s'y fera à peu de frais, par l'éloignement des ouvrages de rétrécissement (458 2°.). 3°. La plupart de ces rivières, se dégorgeant dans les rivières du premier ordre, en augmenteront le commerce & les avantages. 4°. Quand même elles se jetteroient directement dans la mer, le commerce des pays situés sur leurs cours, pourroit, par le cabotage, le long des côtes, & souvent même par des canaux particuliers, se lier avec celui des grandes rivières. 5°. Les pays de plaines sont ordinairement plus peuplés & ont plus de richesses territoriales & industrielles que ceux de montagnes : par conséquent, il est toujours avantageux de leur donner un débouché. 6°. La facilité de l'exportation fait diminuer le prix des denrées & des marchandises. 7°. Le roulage fatigueroit moins les routes & entraîneroit moins de dépenses. 8°. Enfin on restitueroit beaucoup de bras & de chevaux à l'agriculture.

Le hallage des petites rivières des pays de montagnes n'a pas, à beaucoup près, les mêmes avantages, & ne doit pas obtenir la même protection de la part du Gouvernemenr. 1°. Leur pente excessive (160. 1°. & 175) exigeroit des canaux latéraux avec écluses (476). 2°. Outre que ces canaux seroient fort coûteux, ils seroient souvent exposés à être dégradés par des tor-

rens qui descendent des montagnes. 3°. Les pays de montagnes sont généralement peu peuplés, & les habitans, y étant rarement à leur aise, y ont peu de superflu. 4°. Par la même raison, il s'y fait peu de consommation de marchandises étrangères. 5°. Enfin le point central n'y jouit jamais d'un commerce assez étendu, pour former un terme de navigation (496).

D'où il est aisé de conclure (506 1°.) que le hallage, considéré relativement à la navigation intérieure de la France, ne peut avoir pour objet, d'une part, que les grandes rivières, prises depuis l'endroit où la navigation à la voile cesse, jusqu'aux canaux qui feront communiquer deux vallées voisines; & de l'autre, que les petites rivières des pays de plaines.

Venons à présent à la partie de la flottaison.

Quelles sont les rivières dont la flottaison doit être regardée comme faisant partie de la navigation intérieure.

509. Nous distinguerons encore la flottaison des rivières des pays de plaines, de celles des pays de montagnes.

La première tient au systême général de la navigation intérieure, par les raisons suivantes. 1°. Elle fait la suite du hallage de ces rivières. 2°. Elle facilite le transport de divers objets, aux endroits de dépôts pour le chargement des bateaux. 3°. Elle procure sur-tout des bois de chauffage essentiellement nécessaires aux grandes communes inférieures. 4°. Quoique ces rivières aient peu de profondeur d'eau, elles en ont néanmoins assez généralement, sous une profondeur convenable, pour recevoir des bateaux fort plats qui sont très-utiles pour les transports. A ces raisons, nous pouvons ajouter les quatre dernières, relatives au hallage de ces mêmes rivières, & que nous avons détaillées au n°. précédent. Ainsi cette partie est un rameau de la navigation générale de l'intérieur, &, par conséquent, elle ne doit pas être étrangère au gouvernement.

La seconde mérite les regards de la Nation, lorsqu'elle peut procurer des bois de charpente, soit navale, soit civile; mais ce cas excepté, on ne voit pas à quoi elle seroit utile. En effet, nous l'avons déjà dit (508), ces pays sont peu peuplés, & les

habitans y ſont peu aiſés; rarement ils ont du ſuperflu : en procurant même un débouché par eau à ce ſuperflu, on provoque la deſtruction des forêts, pour faire des radeaux. Or, nous avons vu (146 & 152) les déſaſtres qui en réſulteroient.

Ainſi, dans le ſyſtême de la navigation intérieure, il ne doit y entrer que la flottaiſon des rivières en pays de plaines, & celle des rivières des pays de montagnes, lorſqu'on en peut tirer des bois de charpente civile ou navale (506. 1°.); ce cas excepté, elle ne doit pas fixer l'attention de la Nation.

510. Concluons donc de tout ce que nous venons de dire, que, pour opérer la navigation intérieure de la France, il faut: En quoi conſiſte réellement la navigation intérieure.

1°. Par des canaux de navigation joindre les principales rivières de l'Etat, ſoit entr'elles, ſoit avec les points centraux de commerce.

2°. Aſſurer la navigation à la voile de ces rivières à leur embouchure, & la pouſſer auſſi loin vers leur ſource, que peuvent le permettre leur pente & leur volume d'eau.

3°. Faciliter leur hallage, ſoit dans leur propre lit, quand elles ont peu de pente, ſoit par des canaux latéraux, lorſque cette pente eſt conſidérable, depuis le terme de la navigation à la voile, juſqu'aux canaux de communication entre deux vallées adjacentes.

4°. Pouſſer auſſi, le plus loin poſſible, le hallage & la flottaiſon de toutes les rivières des pays de plaines, ſoit qu'elles ſe jettent dans les grandes rivières, ſoit qu'elles ſe rendent directement à la mer.

5°. Enfin, effectuer, ou faciliter la flottaiſon des rivières des pays de montagnes, lorſqu'elles peuvent fournir des bois de charpente, ſoit civile, ſoit navale.

Il nous ſera aiſé, d'après ces principes, de fixer nos idées ſur la navigation intérieure, & de faire voir en quoi conſiſtent les ouvrages à exécuter. Pour cela, nous allons puiſer, dans le rapport que le citoyen Marragon a fait à la Convention natio-

nale, le 24 fructidor de l'an 3, les matériaux qui se rapportent à cet objet. Nous suppléerons à quelques omissions qu'il y a faites, par nos propres observations, & nous élaguerons de son ouvrage tout ce qui n'entre pas dans notre plan.

Nous posons, en principe, que la navigation dont il s'agit doit être entièrement intérieure, &, par conséquent, absolument indépendante de la navigation maritime; car il faut que, dans le cas d'une guerre sur mer, les diverses parties de l'État puissent communiquer entr'elles par eau.

Communication de Marseille avec Bordeaux & Bayonne.

511. La navigation, dans le Midi, doit se diriger de l'Est à l'Ouest: ses termes centraux seront Marseille à l'Est, Bordeaux & Bayonne à l'Ouest.

1°. De Marseille, on doit aboutir à l'étang de Berre, près de Marignanne, par le moyen d'un canal qui passeroit au Rove, où seroit placé le point de partage, & qui seroit alimenté par le canal à dériver de la rivière d'Arc à Langesse, décrété en notre faveur, le 21 mai 1791.

2°. De l'étang de Berre, près de Marignanne, on passeroit à Martigues, & on se rendroit au port de Bouc, par l'étang & par les canaux de Martigues.

3°. Du port de Bouc, on se rendroit au Rhône pris à Arles, par le moyen d'un canal navigable & alimenté par celui des Alpines, ci-devant de Boisgelin, dont nous avons déjà parlé au n. 452, & dont nous avons dressé les plans par ordre des ci-devant états de Provence.

4°. Du Rhône pris à Arles, on remonteroit le fleuve jusqu'à la pointe de l'isle de Camargue, & ensuite on descendroit le petit Rhône jusques vis-à-vis Saint-Gilles.

5°. De cet endroit, on se rendroit au canal de Saint-Gilles à Aigues-Mortes, par un canal particulier à construire, d'environ 1200 toises de longueur.

6°. De Saint-Gilles, on aboutira à Aigues-Mortes par le canal qui communique du premier de ces endroits au second,

& qui fait partie de celui projetté d'Aigues-Mortes à Beaucaire.

7°. D'Aigues-Mortes, on arrivera à Cette, en paſſant ſucceſſivement par le canal de la Radelle, l'étang de Maugnio, le canal des Étangs & celui de la Peyrade.

8°. De Cette, par le canal du Midi, ci-devant de Languedoc, on aboutira à la Garonne priſe à Toulouſe.

9°. De Toulouſe, on arrivera à Bordeaux, en ſuivant le courant de la Garonne.

Mais ſi, de Bordeaux, il falloit remonter cette rivière juſqu'à Toulouſe, on éprouveroit les plus grands retards par la rapidité des eaux. C'eſt pour cette raiſon que (476), depuis l'endroit où la pente de la rivière commence à être trop forte pour le hallage juſqu'à Toulouſe, il faut néceſſairement exécuter un canal latéral dont les chûtes ſeront rachetées par des écluſes.

10°. Enfin, pour aboutir à Bayonne, arrivé à Aiguillon, près de l'embouchure du Lot, on entreroit dans le canal projetté depuis cet endroit juſqu'au Midon, pris à Mont-de-Marſan; d'où, par la voie du Midon, qui ſeroit par-tout rendu hallable par les moyens indiqués aux n. 476 & 479 reſpectivement, on arriveroit à l'Adour, &, par cette derniére rivière, à Bayonne.

Par où l'on voit que, par cette route, tous les départemens du Midi pourroient facilement, & par la navigation à la voile, ou par le hallage, communiquer entr'eux.

Communication de Marſeille : 1°. Avec la vallée du Rhin.

512. La vallée du Rhône & celle de la Saône & de ſes affluens, combinées avec celle du Rhin, nous fourniſſent le moyen de faire communiquer directement Marſeille avec tous les pays ſitués ſur ce dernier fleuve, ſur la Moſelle, la Meuſe & leurs affluens, & avec la Suiſſe & le Mont-Blanc.

1°. De Marſeille à Arles, on ſuivroit la route tracée ci-deſſus (511. 1°. 2°. & 3°.).

2°. D'Arles, on remonteroit le Rhône, à la voile (441), ou au hallage jusqu'à Beaucaire.

3°. De Tarascon à Avignon, on remonteroit le fleuve, au hallage exclusivement.

4°. D'Avignon à Lyon, on suivroit un canal latéral à exécuter, à cause de la grande rapidité du courant (476).

5°. A Lyon, on entreroit, du Rhône, dans la Saône qu'on rendroit hallable (479) par-tout où elle n'auroit pas assez de profondeur, & on la remonteroit jusqu'à l'embouchure du Doubs.

6°. On rendroit pareillement le Doubs hallable (476 & 479) & on le remonteroit jusqu'aux environs de Mont-Belliard.

7°. En cet endroit, on quitteroit le Doubs pour entrer dans le canal de jonction de cette rivière & de celle d'Ill, par Valdieu, canal projetté par le citoyen Bertrand, ancien inspecteur général des Ponts & Chaussées, & décrété sous la dénomination de *canal de l'Est*, par le moyen duquel on aboutiroit à la rivière d'Ill, & l'on entreroit dans la vallée du Rhin.

8°. On suivroit la rivière d'Ill, depuis l'issue du canal de l'Est jusqu'au-dessous de Strasbourg, où elle entre dans le Rhin. On auroit soin de la rendre hallable sur toute cette partie de son cours, par les moyens indiqués aux n. 476 & 479.

9°. Depuis l'embouchure de l'Ill, on suivroit le Rhin jusqu'à la fin de son cours, en ayant soin de lui substituer un canal latéral avec écluses (476), dans toute la partie où il y auroit trop de rapidité pour la remonte.

2°. Avec la vallée de la Moselle.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Moselle;

10°. On rendra (476 & 479) la Saône hallable, & on la remontera jusqu'à Jonvelle.

11°. En cet endroit, on entreroit dans le canal projetté de communication entre la Saône & la Moselle.

12°. En ſortant de ce canal, on entreroit dans la Moſelle, qu'on rendroit hallable par les moyens indiqués (476 & 479) juſqu'à ſon embouchure dans le Rhin à Coblentz, aux endroits où elle ne le feroit pas.

Pour établir la communication entre la vallée de la Saône & celle de la Meuſe; 3°. Avec la vallée de la Meuſe.

13°. Arrivé à Toul, on quittera la Moſelle pour entrer dans le canal projetté de Toul à Pagny, & deſtiné à faire communiquer cette rivière avec la Meuſe.

14°. A Pagny, on entrera dans la Meuſe, qu'on ſuivra juſqu'à ſon embouchure dans le Rhin, & qu'on aura ſoin (476 & 479) de rendre hallable, par-tout où les localités l'exigeront.

Enfin, pour établir la communication entre Lyon & le lac de Genève; 4°. Avec la Suiſſe & le Mont-Blanc.

15°. On remontera le Rhône juſqu'à la hauteur de Seiſſel, par un canal latéral (476).

16°. A la hauteur de Seiſſel, on entrera dans le canal projetté depuis cette commune juſqu'à Verſoix, où l'on trouve le lac, par le moyen duquel on communiquera avec la Suiſſe & le département du Mont-Blanc.

Ainſi, 1°. par le Rhône, la Saône & le Doux; 2°. par le Rhin, la Moſelle & la Meuſe; 3°. par quelques canaux intermédiaires, on fera communiquer, entr'eux, tous les départemens de l'Eſt & du Nord, depuis Marſeille juſqu'à l'embouchure de l'Eſcaut.

513. Lions, par un canal, la vallée du Rhône à celle de la Loire, & nous établirons une communication entre Marſeille & Nantes. En effet:

1°. De Marſeille, on aboutira à Châlons-ſur-Saône, par la route indiquée ci-deſſus (512. 1°. & 5°.). Communication de Marſeille avec Nantes.

2°. A Châlons, on entrera dans le canal en exercice, dit

canal du Centre, connu ci-devant ſous le nom de canal de Charolais, & l'on aboutira à la Loire, priſe à Digoin.

3°. De Digoin, on ſuivra la Loire juſqu'à Nantes & à Paimbœuf, en adouciſſant, par-tout où il ſera néceſſaire, ſon hallage, par les moyens indiqués (476 & 479).

Communication de Marſeille avec Paris & la vallée de la Seine.

514. Par la même voie & par les canaux de Briare & d'Orléans, Marſeille communiquera avec Paris, Rouen, & tous les pays ſitués ſur la Seine & ſur ſes affluens.

1°. On arrivera à Digoin par la route preſcrite ci-deſſus (513. 1°. & 2°.).

2°. De Digoin, par la Loire, ou par le canal latéral (476), on aboutira au canal de Briare.

3°. Par le canal de Briare on arrivera à la Seine.

4°. De ce dernier point, on ſe rendra à Paris, Rouen, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de la Somme.

515. C'eſt encore par la même route, que Marſeille communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. Par la voie preſcrite au n. précédent, on arrivera à la rivière d'Oiſe.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à Chauny.

3°. On paſſera de la vallée de la Seine, à celle de la Somme, par le canal en exercice de Chauny à Saint-Quentin.

4°. En ſortant de ce canal, on entrera dans la Somme, par laquelle on communiquera avec Péronne, Amiens, Abbeville, &c.

Communication de Marſeille avec la vallée de l'Eſcaut, la Belgique & la Hollande.

516. Enfin, en joignant, par un canal, la vallée de la Somme à celle de l'Eſcaut, Marſeille communiquera avec la Belgique & la Hollande.

1°. Par le n. 515. 1°. & 3°., on arrivera à la Somme.

2°. En finiſſant le canal commencé, du citoyen Laurent de Lyonne, on aboutira à l'Eſcaut à la hauteur de Cambrai.

3°. En perfectionnant la navigation de l'Eſcaut (476 & 479), on parviendra aux frontières de la Hollande.

517. L'on voit par-là quels ſont les moyens de faire communiquer

muniquer Marſeille, que nous devons regarder comme premier point central du commerce, avec les vallées de la Garonne, du Rhône, du Rhin, de la Loire, de la Seine & de la Somme. Mais ce n'eſt pas tout; il faut encore procurer le même avantage à Bordeaux, autre point central eſſentiel. Cette place pourroit, à la vérité, communiquer avec les vallées du Rhin, de la Somme, de la Seine & de la Loire, par le canal du Midi, & par le Rhône pris à la hauteur de Saint-Gilles (511. 5°. & 9°., 512. 2°. & 14°., 513 & 516.). Mais l'inſpection de la carte fait voir qu'il y a des routes moins longues qui peuvent remplir cet objet, en vivifiant les pays intermédiaires. C'eſt de quoi nous allons nous occuper.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Loire.

518. Pour établir une communication entre Bordeaux & la vallée de la Loire;

1°. On paſſera, de la Gironde, à la rivière de Seugne par le moyen d'un canal projetté par le citoyen Lallemand.

2°. On rendra hallable la Seugne par quelqu'un des moyens preſcrits aux n. (476, 477 & 479), & l'on aboutira, par cette voie, à la Charente.

3°. De l'embouchure de la Seugne, on remontera la Charente juſqu'à Civrai, en ayant ſoin de la rendre hallable aux endroits où elle ne le ſera pas (476, 477 & 479).

4°. A cette hauteur, on paſſera dans la rivière de Clain par le canal projetté de jonction de cette rivière avec la Charente, de Civrai à Vareilles.

5°. On rendra le Clain hallable (476, 477 & 479) depuis Vareilles, juſqu'à ſon embouchure, &, en le deſcendant, on arrivera à la Loire, à Montmozeau, d'où l'on pourra communiquer avec tous les pays ſitués ſur ſon cours, depuis Paimbœuf juſqu'à Digoin.

On doit remarquer en paſſant, qu'arrivé à la Charente (1°. & 2°.), on pourra, par cette rivière, communiquer avec Rochefort.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Seine.

519. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Seine par la route ſuivante :

1°. On arrivera, de Bordeaux, à la Loire priſe à Montmozeau, par la voie tracée au n. précédent.

2°. De Montmozeau, on remontera la Loire juſqu'à la hauteur du canal d'Orléans.

3°. Par le canal d'Orléans & par le Loing, on paſſera dans la Seine.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Somme.

520. Par la route qui ſuit, Bordeaux communiquera avec la vallée de la Somme.

1°. On aboutira à la Seine par la route preſcrite au n. précédent.

2°. On deſcendra la Seine juſqu'à l'embouchure de l'Oiſe.

3°. De l'embouchure de l'Oiſe, on arrivera à la Somme par la route preſcrite ci-deſſus (515. 2°., 3°. & 4°.)

521. Il s'agit à préſent de faire communiquer Bordeaux avec la vallée du Rhin. Sur cela nous devons obſerver que le Rhin, depuis ſon entrée ſur les terres de la France juſqu'à ſes embouchures, ayant une très-vaſte étendue, doit être conſidéré, comme renfermant quatre vallées particulières ſur ſa gauche, ſavoir : 1°. celle du Haut-Rhin ; 2°. celle de la Moſelle ; 3°. celle de la Meuſe ; 4°. enfin celle de l'Eſcaut. Nous ne propoſerons donc pas, pour aboutir de la Gironde à l'Eſcaut, d'arriver préalablement au Haut-Rhin ; mais, à l'imitation de ce que nous avons dit à ce ſujet (512), nous tracerons des routes partielles pour l'Eſcaut, la Meuſe, la Moſelle & le Haut-Rhin.

Communication de Bordeaux avec la vallée de l'Eſcaut.

522. De Bordeaux, à la vallée de l'Eſcaut, la route ſera telle qu'il ſuit.

1°. On arrivera, à la Somme, par la voie preſcrite au n. 520.

2°. Par la route tracée au n. 516, on aboutira juſqu'à l'embouchure de l'Eſcaut.

523. Bordeaux communiquera avec la vallée de la Meuſe, par la voie qui ſuit.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Meuſe.

1°. On arrivera à l'embouchure de l'Oiſe, par la route preſcrite au n. 520. 1°. & 2°.

2°. On remontera l'Oiſe juſqu'à l'embouchure de l'Aiſne.

3°. On rendra l'Aiſne hallable (476, 477 & 479), & on la remontera juſqu'aux environs d'Attigny.

4°. En cet endroit, on entrera dans le canal projetté de communication entre l'Aiſne & la Meuſe, priſe aux environs de Stenay.

5°. A l'iſſue de ce canal, on entrera dans la Meuſe par le moyen de laquelle on pourra pénétrer juſqu'en Hollande.

524. Avant de parler de la route de Bordeaux à la Moſelle, nous allons tracer celle de la même commune à la vallée du Haut-Rhin. Pour y arriver:

Communication de Bordeaux avec la vallée du Haut-Rhin.

1°. Par la route rétrograde de celle expoſée au n. 511. 4°. & 9°., on aboutira au Rhône, pris à la pointe de l'iſle de Camargue.

2°. De-là, par la voie décrite au n. 512. 2°. & 9°., on arrivera au Rhin, qu'on pourra parcourir dans tout ſon cours, en aval.

525. De Bordeaux à la Moſelle, on aura deux routes à choiſir.

Communication de Bordeaux avec la vallée de la Moſelle.

Première route. 1°. Par la voie décrite au n. précédent, on remontera juſqu'à l'embouchure du Doubs.

2°. Depuis cet endroit, on ſuivra la route décrite ci-deſſus (512. 10°. & 12°.).

Seconde route. 1°. Par la voie expoſée au n. 523. 1°. & 4°., on aboutira à la Meuſe, près de Stenay.

2°. En cet endroit, on remontera la Meuſe juſqu'à Pagny.

3°. De Pagny, par l'inverſe de la route décrite au n. 512. 13°. & 14°., on arrivera à la Moſelle, qu'on pourra deſcendre juſqu'au Rhin.

526. Enfin, de Bordeaux au lac de Genève, on ſuivra la route que nous allons décrire.

Communication de Bordeaux avec le lac de Genève.

1°. On arrivera au Rhône, pris à la pointe de l'isle de Camargue, d'après ce que nous avons dit au n. 524. 1°.

2°. De cet endroit, on arrivera à Lyon, par la route exposée au n. 512. 2°. & 4°.

3°. De Lyon, on aboutira au lac de Genève, par la voie décrite au n. 512. 15°. & 16°.

Ces communications remplissent l'objet de la navigation intérieure.

527. Telle est, & telle nous paroît devoir être la navigation intérieure de la France, prise dans sa véritable acception. Elle doit nécessairement former une ligne non interrompue, qui embrasse tout le pourtour de l'Etat, & qui circule, par des canaux, soit naturels, soit artificiels, autour de la grande masse de montagnes de la ci-devant Auvergne, que la nature a placées au centre de notre territoire. Dans l'espace compris par cette ligne, on voit la Loire & la Seine former deux diagonales, & porter, soit directement & par elles-mêmes, soit indirectement & par leurs affluens, un commerce considérable aux principales villes de la République.

On voit aussi que, par ce tracé, ces mêmes villes peuvent communiquer, sans faire de bien grands détours, avec les places les plus reculées. Prenons pour exemple Paris.

1°. Elle communiquera facilement avec l'Escaut (515. 2°. & 3., & 516. 2° & 3°.).

2°. Elle communiquera avec la Meuse (523. 2°. & 5°.).

3°. Elle communiquera avec la Moselle, par la 2ᵉ. route du n. 525.

4°. Elle communique déjà avec la Loire, par le Loing & les canaux de Briare & d'Orléans.

5°. Elle communique aussi avec le Rhône, par le Loing, les deux canaux que nous venons de citer, la Loire, le canal du Centre & la Saône.

6°. Elle communiquera avec le Haut-Rhin, par la Saône, le Doubs, le canal de l'Est & l'Ill, ou, si l'on veut, par la

Meuse, le canal de Toul, la Moselle, le canal de Jonvelle, la Saône, le Doubs, le canal de l'Est & l'Ill.

7°. Elle communiquera avec Marseille par la route ci-dessus (5°.) & par l'inverse de celle décrite au n. 512. 2°. & 4°.

8°. Elle communiquera avec le lac de Genève, par la même route ci-dessus (5°. & par l'inverse de celle tracée au n. 512. 15°. & 16°.

9°. Elle communiquera avec Bordeaux, par l'inverse de la route du n. 519.

10°. Enfin elle communiquera avec Bayonne, par la voie de Bordeaux, & depuis cette ville, par la Garonne & par la route décrite au n. 511. 10°.

Il est facile de démontrer, d'une manière semblable, qu'une pareille communication aura aussi lieu pour toutes les villes qui seront placées, soit sur la ligne de circonscription, soit sur les deux diagonales, soit enfin sur les affluens hallables qui y aboutissent.

528. La navigation intérieure, telle que nous venons de la décrire, est réellement un projet de la nature de celui mentionné au n. 506. 1°.; car il est visible qu'il intéresse la généralité de l'Etat. A la vérité, les trajets seront plus longs que par terre; mais on doit savoir qu'un canal, soit naturel, soit artificiel, n'est pas un chemin; que, dans le premier cas, la nature en a fixé la route, & que, dans le second cas, on est assujetti aux localités qu'on ne peut pas changer, & à la loi impérieuse du niveau, qui n'admet pas de modification. D'ailleurs, quelle que soit l'augmentation du trajet, on en est toujours bien amplement dédommagé par la facilité des transports. Car quand même un cheval, par le hallage, ne traîneroit que le décuple du poids qu'il peut voiturer par terre, on sent qu'il y auroit encore beaucoup à gagner. Ajoutons à cela qu'il en résulteroit toujours, en outre, les avantages mentionnés au n. 508.

Quant aux embranchemens à effectuer par des rivières qui communiqueroient immédiatement avec les lignes principales de la navigation, ou qu'on y joindra par le moyen de canaux particuliers & qu'on aura convenablement disposés au hallage, nous pouvons dire que ces sortes de projets, ne regardant pas la généralité, ne peuvent fixer l'attention du Gouvernement que dans les cas mentionnés au n. 506. 2°., 3°. & 4°.

Ouvrages à exécuter pour la navigation intérieure.

529. L'on voit, par tout ce que nous venons de dire, que la plupart des rivières que nous avons indiquées, comme devant entrer dans le systême de la navigation intérieure, ont besoin d'être modifiées sur une partie de leur cours & préparées au hallage de remonte, soit par des rétrécissemens (479), soit par des déversoirs (477), soit enfin par des canaux latéraux (476). Dans ce dernier cas, les canaux, devant être souvent alimentés par des eaux presqu'habituellement chargées de limon, ont besoin d'être construits avec des précautions particulières, pour éviter les emcombremens des retenues & des sacs des écluses. D'autre part, on pourra mettre à profit les chûtes au droit des écluses, pour la construction de diverses machines qui favoriseront la partie industrielle. Enfin, lorsque les rivières, d'où on dérivera ces canaux, seront considérables, comme le Rhône, la Loire & la Garonne, on pourra aussi, très-avantageusement dans certains cas, réunir le hallage des canaux avec l'arrosage. Au surplus, ce sujet est aussi vaste qu'intéressant: nous ne pouvons ici que laisser entrevoir les difficultés & les avantages: mais nous nous réservons à traiter la chose à fond dans un ouvrage particulier sur les canaux de navigation.

Canaux de communication entre deux vallées.

530. L'on voit aussi que ce projet de navigation intérieure, exige un grand nombre de canaux destinés à faire communiquer les rivières, les unes avec les autres. Parmi ces canaux, il est possible qu'il s'en trouve quelques-uns qui puissent être alimentés par l'une des deux rivières à joindre, en tirant, d'une certaine hauteur, un canal de dérivation. La chose aura lieu,

dans le cas ou l'une des deux rivières à joindre auroit beaucoup de pente & l'éminence intermédiaire peu de hauteur. Mais, le plus ſouvent, ces canaux ne peuvent ſe fournir que d'eau de pluie : dans ce cas, il faut avoir recours aux réſervoirs, tels que celui de Saint-Ferréol, qui alimente le canal du Midi. Comme ce ſujet n'a jamais été traité, quoiqu'infiniment eſſentiel, & qu'il eſt la baſe de notre projet d'arroſement pour les vallées de l'Arc, Marignanne & Marſeille, dans le département des Bouches-du-Rhône, nous le développerons dans le traité que nous publierons bientôt ſur les canaux d'arroſage.

Réflexions ſur les canaux ſouterreins.

531. Nous ne connoiſſons pas aſſez les localités, pour pouvoir dire ſi certains de ces canaux exigeront d'être pratiqués dans des percemens ſouterreins, comme celui de jonction de la Somme & de l'Eſcaut, ci-devant connu ſous le nom de *Canal de Picardie*; mais, dans tous les cas, nous penſons qu'on doit éviter ces ſouterreins autant qu'il ſera poſſible, & qu'on ne doit les employer que lorſque les localités le commandent impérieuſement : car on ne peut jamais ſavoir ce qu'on rencontrera dans le ſein d'une montagne; & ſi, malheureuſement, après avoir déjà fait des dépenſes conſidérables, on trouve, ſur ſes pas, un gouffre, ou une ſource abondante, on ſeroit inévitablement obligé d'abandonner les ouvrages, & de prendre une autre route. Auſſi l'expérience prouve-t-elle que ces ſortes de travaux ſont toujours ſujets à beaucoup d'inconvéniens, & que le ſuccès en eſt ordinairement fort précaire.

Réflexions ſur le canal ci-devant de Picardie.

532. Puiſque nous en ſommes ſur les canaux ſouterreins, il ne ſera pas hors de propos de dire un mot ſur le percement ſouterrein du canal ci-devant de Picardie. On ſait que ce percement devoit avoir environ 7000 toiſes de longueur, & qu'il eſt déjà conſidérablement avancé : on ſait auſſi qu'il a été fort improuvé par des perſonnes infiniment recommandables par la profondeur de leurs lumières, & que leur improbation eſt particulièrement fondée ſur le peu de largeur du canal, & ſur la

grande résistance qu'éprouveront les bateaux, de la part d'un fluide qui, dans ce cas, doit être regardé comme extrêmement défini, par le peu d'espace qui restera entre les parois du canal & le corps des bateaux.

Nous ne pouvons pas nous dissimuler que ces raisons ne soient véritablement fondées en principes. Cependant, examinons les choses de près. Suivant les expériences sur les résistances des fluides, faites par les citoyens Bossut, d'Alembert & Condorcet, la résistance d'un fluide défini n'est que double de celle d'un fluide indéfini. Par conséquent, dans le canal souterrein dont nous parlons, le hallage exigera deux fois plus de force, ou deux fois plus de tems, que si cette partie du canal avoit été construite, à ciel ouvert, avec de plus grandes dimensions transversales. Or, si on l'avoit construit à ciel ouvert, dans le cas ou la chose auroit été possible, elle eût pu avoir, & même probablement elle auroit eu une longueur au moins deux fois plus considérable. Donc, alors, il y auroit eu compensation.

Qu'on regarde donc cette partie du canal, comme si elle étoit à ciel ouvert, d'une longueur double & avec de plus grandes dimensions. Dans ce cas, on feroit deux fois plus de tems à la parcourir. Mais on sait que, sur un aussi petit intervalle, le tems perdu, par l'excès de résistance, ou par la duplication de la longueur, ne sera tout au plus que de quelques heures. Or, dans un ouvrage de cette nature, la chose n'en vaut pas assez la peine pour s'y arrêter.

Ainsi nous pensons que, sans s'attacher à ces difficultés, il ne pourroit être que très-avantageux, tant à la prospérité publique, qu'aux intéressés à l'entreprise, que le percement souterrein fût fini & le canal de jonction perfectionné dans toute son étendue.

Du reste, ce que nous disons à ce sujet, n'est point dicté par un esprit de contradiction : nous sommes pénétrés d'estime pour les personnes qui se sont élevées contre ce souterrein, & d'ailleurs,

d'ailleurs, nous adhérons à leurs principes. Mais nous croyons que l'on peut envifager les chofes fur les rapports que nous venons de préfenter, & que cette manière de voir doit naturellement lever toutes les difficultés qu'on peut propofer à cet égard.

533. Le projet de la navigation intérieure de la France eft, comme l'on voit, de la plus haute importance, & fi jamais il étoit exécuté, on fent qu'il rendroit cet Etat un des plus floriffans qu'il y ait fur la furface du globe. Mais ce n'eft pas l'ouvrage d'un jour, ni même d'une génération. Cependant il feroit digne de la fageffe du Gouvernement de prendre de loin toutes les mefures & de préparer tous les moyens qui peuvent tôt ou tard contribuer à fon exécution. Ainfi, il feroit à defirer que le confeil des ponts & chauffées fût chargé de l'examiner mûrement, & d'en arrêter la route & toutes les parties; qu'enfuite de cette décifion, les ingénieurs des départemens refpectifs euffent ordre, chacun dans fon arrondiffement, d'en lever les plans fur la même échelle, & d'en dreffer les devis, d'après le plan général arrêté, & que tous ces plans & devis partiels fuffent envoyés à la Commiffion des travaux publics, pour rédiger un plan & un devis général, & faire le relevé de tous les frais qu'une pareille entreprife exigeroit.

Précautions à prendre pour effectuer le projet de la navigation intérieure.

Ce feroit d'après tous ces préliminaires, qu'on pourroit ftatuer, tant fur l'ordre à fuivre dans l'exécution, que fur les fonds annuels qu'on pourroit y employer, & fur les moyens de fe les procurer.

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine jusqu'à Paris.

La navigation de la Seine à la voile, souvent proposée.

534. DEPUIS des siècles, on agite la question de savoir s'il ne seroit pas possible de faire remonter la Seine aux vaisseaux qui arrivent à Rouen, & d'établir un port à Paris. On a fait, à ce sujet, diverses vérifications; on a dressé divers mémoires, & en dernière analyse, on s'est borné à parcourir le lit de la rivière, & à écrire sans donner suite à aucun projet. Nous avons vu dernièrement un lougre aborder au pont de la Révolution: ce navire a ranimé les espérances presqu'éteintes de la navigation dont nous parlons; mais il ne tiroit que cinq pieds d'eau, & certes, ce seroit bien peu de chose pour mettre Paris à portée de faire le même commerce que Rouen.

Dans l'idée de faciliter cette navigation, on a proposé de redresser, par des canaux, le lit sinueux de la rivière. Mais ces redressemens, en augmentant la pente, auroient réellement diminué la profondeur des eaux: d'ailleurs, nous verrons qu'ils entraîneroient les plus grands inconvéniens.

D'autres enfin, en divers tems, ont proposé différens projets de canaux, dont l'objet principal étoit, ou de rendre la navigation de la Seine plus aisée, ou d'augmenter les communications de Paris. Parmi ces derniers, on distingue sur-tout celui du citoyen Lémoine, ayant pour but de faire communiquer cette rivière avec l'Océan pris à Dieppe.

Dans cette section, nous allons donner nos idées sur la manière que nous croyons la plus simple, non-seulement pour

faire arriver à Paris les vaiſſeaux qui s'arrêtent à Rouen, mais encore pour procurer à la Seine la plus grande navigation dont elle eſt ſuſceptible.

La Seine a la pente convenable, mais trop peu de profondeur d'eau pour la navigation à la voile.

535. D'après ce que nous avons dit (441 & 442), toute rivière qui a la profondeur d'eau convenable, & qui ne charie que du ſable ou du limon, ou qui chariant du gravier, n'a pas au-delà de 3 pouces & demi de pente ſur 100 toiſes de longueur, eſt navigable à la voile. Or, de Rouen à Paris, & même fort au-deſſus, la Seine ne charie point de gravier ; & d'ailleurs les nivellemens prouvent que ſa pente, loin d'être au-delà de 3 pouces & demi ſur 100 toiſes, n'eſt pas même de 2 pouces. Ainſi la pente eſt telle que l'exige la navigation à la voile.

Quant à la profondeur des eaux de cette rivière, on doit remarquer : 1°. qu'à ſon embouchure, il y a des barres formées par les dépôts, qui ne permettent le paſſage qu'à des navires de moyenne grandeur, & tels qu'ils ne prennent pas au-delà de 9 pieds d'eau, ainſi qu'on en peut juger par les vaiſſeaux qui arrivent à Rouen; 2°. que dans la partie reſtante de ſon cours, la profondeur des eaux y eſt très-inégale ; qu'il y a un grand nombre d'endroits où cette profondeur, dans les baſſes eaux, eſt de 12, 15, & même 18 pieds, & qu'il y en a d'autres où elle n'eſt que de 4 à 5 pieds.

Par conſéquent, la navigation de la Seine, pour être perfectionnée, exigeroit que la moindre profondeur, dans le tems des baſſes eaux, fût de 12 pieds ou environ. On peut déjà voir, par ce qui précède, qu'il y a des moyens de forcer la rivière à prendre elle-même cette profondeur en amont de ſon embouchure. Mais dans cette dernière partie, la choſe eſt impoſſible (270); & pour y remédier, il faut néceſſairement recourir à un canal latéral (451). Comme nous ſavons que des ingénieurs très-inſtruits s'en occupent, nous n'en dirons pas davantage. Nous nous bornerons à la navigation en amont de l'embouchure juſqu'à Paris.

Les finuofités ne feroient pas un obftacle à la navigation à la voile.

536. Nous avons dit (446) que la navigation à la voile exigeoit que les finuofités du lit de la rivière ne fuffent pas trop dures. Or, fi l'on jette les yeux fur le cours de la Seine, on verra que fon lit, exceffivement tortueux, a précifément ce défaut, qui eft un obftacle à la navigation. Cependant, comme il eft très-rare que le vent foit tout-à-fait contraire, & qu'il y a ordinairement plus ou moins de dérive, fi l'on pouvoit fe procurer par-tout la profondeur d'eau néceffaire, ces finuofités ne feroient point un obftacle abfolu. Nous ajouterons même, qu'à raifon de la multiplicité de ces finuofités, fi le vent étoit tout-à-fait contraire, ce ne pourroit être que fur un très-court efpace; auquel cas le pis feroit de fe faire haller ou remorquer fur cet intervalle.

On peut lever l'obftacle oppofé par les ifles.

537. Un autre obftacle, à la navigation de la Seine, eft cette multitude d'ifles qui font répandues, dans fon lit, tout le long de fon cours. L'expérience fait voir que ces ifles gênent même le hallage. Cependant cet obftacle feroit aifé à détruire, ainfi que nous l'avons déjà dit (454), fi l'on pouvoit obtenir une plus grande profondeur d'eau.

On peut auffi lever celui oppofé par les ponts.

538. Il y a auffi, fur le cours de la rivière, divers ponts dont les arches formeroient un obftacle au paffage des navires mâtés. Mais cet obftacle feroit aifé à lever (463) fi l'on avoit profondeur d'eau.

Le défaut de profondeur d'eau, eft la feule difficulté.

539. Ainfi, d'après ce que nous venons de dire (535 & 538), on voit que la Seine eft parfaitement fufceptible de la navigation à la voile; que tous les obftacles mentionnés dans les 3 derniers n. peuvent facilement être levés ou modifiés; & qu'il n'y a réellement que le défaut de profondeur d'eau, en divers endroits, qui empêche, dans l'état actuel des chofes, que les vaiffeaux qui abordent à Rouen ne remontent jufqu'à Paris, ainfi que l'exigeroit l'importance de cette vafte cité & le bien général de l'Etat.

540. Cette difficulté a été parfaitement ſentie dans tous les tems; auſſi, preſque tous les anciens projets avoient-ils, pour premier objet, d'approfondir le lit de la rivière. Mais on n'a jamais imaginé de forcer le courant, par des moyens ſimples & économiques, à effectuer lui-même cet approfondiſſement; on penſoit ſeulement à l'opérer à main d'homme : or, dans ce cas, la choſe devenoit moralement impoſſible; & c'eſt ſans doute la raiſon pour laquelle tous ces projets ont été abſolument perdus de vue.

Projet propoſé par les ingénieurs qui ont remonté la Seine à bord du lougre le *Saumon*.

541. Les ingénieurs, qui dernièrement ſont venus à bord du lougre, depuis le Hâvre juſqu'à Paris, ne paroiſſent pas avoir d'autre objet que de faire naviguer de pareils navires ſur la Seine, &, à cet effet, de débarraſſer ſon lit des divers obſtacles qui l'obſtruent en certains endroits, & que les nautonniers appellent des *nuiſances*; mais ils n'ont pas en vue d'y faire naviguer des vaiſſeaux qui prennent une plus grande profondeur d'eau, du moins à en juger par ce que nous en ont appris les papiers publics; car leur journal ni leur mémoire n'ont pas été imprimés, & ne ſont pas parvenus juſqu'à nous. Il eſt certain que l'exécution de leur projet feroit une amélioration réelle dans la navigation de la Seine; qu'on pourroit alors, de Paris, faire un commerce de cabotage avec la côte, & même avec des iſles à une certaine diſtance du continent, & qu'on ne feroit plus dans le cas, pour une infinité d'objets, de faire des verſemens à Rouen. Ainſi, on ne peut qu'applaudir à leur zèle pour la proſpérité publique. Mais au fond, peut-on croire qu'un négociant à Paris, à qui la fortune permettra de faire des ſpéculations importantes ſur les productions des Indes, ſoit orientales, ſoit occidentales, confiera des chargemens précieux & de la plus grande valeur, à un navire auſſi frêle qu'un lougre? On ſent bien que la prudence s'y oppoſe. Par conſéquent un pareil ſyſtême de navigation ne ſatisfait qu'à demi à celui qu'on doit avoir en vue.

Inconvéniens du projet de redresser le lit de la Seine.

542. Nous ne voyons pas la véritable raison pour laquelle on a proposé d'anéantir les sinuosités, & de redresser le lit de la rivière par-tout où les localités le permettent. Est-ce pour abréger la route de Paris à Rouen, ou pour opérer la navigation à la voile?

Dans la première hypothèse, il est certain que le trajet étant plus direct, seroit en même tems plus court. Il est certain aussi que, non-seulement à raison de ce raccourcissement, mais encore à raison de l'augmentation de vîtesse qu'on procureroit par ce moyen à la rivière (181 & 182), on arriveroit de Paris à Rouen, en beaucoup moins de tems que par le cours actuel. Mais c'est bien moins le tems d'arriver de Paris à Rouen qu'il faut abréger, que celui d'arriver de Rouen à Paris. Or, dans ce cas, on ne gagneroit absolument rien. Supposons, pour le prouver, que ces redressemens rendent le trajet quatre fois moindre. La rivière aura donc quatre fois plus de pente que dans son cours actuel. Elle acquerrera donc plus de vîtesse à proportion; elle opposera donc aussi plus de résistance dans la remonte. Mais la résistance est comme le quarré de la vîtesse, & le quarré de la vîtesse le long des plans inclinés est comme la pente. Donc la résistance sera comme la pente; & puisque cette pente est devenue quatre fois plus forte, la résistance suit la même proportion. Par conséquent, il faudra quatre fois plus de force pour la remonte ou quatre fois plus de tems. Donc, dans ce cas, les redressemens ne font rien gagner sur le tems de la remonte.

Dans la seconde hypothèse, en augmentant la pente, on augmente la vîtesse. Or, par la même raison, on diminue la profondeur des eaux, au lieu qu'il faudroit l'augmenter.

Mais il y a plus. Par les redressemens proposés, la force de la rivière augmentant à raison de la pente, si le fond est corrosible, le courant le creusera jusqu'à ce que le lit ait pris la forme assymptotique (179) qui lui convient. Or, pour

que le lit prenne cette nouvelle forme, la corrosion doit s'étendre à plusieurs lieues en amont du commencement des redressemens. Puis donc que ces redressemens doivent commencer en sortant de Paris, supposons qu'en cet endroit la corrosion y soit de 20 pieds de profondeur, ce qui est plus que possible. Le nouveau fond ne devant coïncider avec l'ancien, qu'à une très-grande distance en amont, cette corrosion se propagera à cette même distance, en diminuant progressivement. Or, alors, il est visible que tous les ponts, les quais & les édifices qui seront placés sur la rivière, soit dans Paris, soit sur la grande partie de cet intervalle, seront ruinés par le courant, & qu'il en sera de même des ouvrages d'art placés sur les affluens.

Pour mieux s'en convaincre, soient ABCDEFGH (fig. 46), le cours actuel de la rivière en aval de Paris, la droite GM égale à la longueur du développement du lit, depuis G jusqu'en A, & GKL la ligne assymptotique qui représente la pente du fond sur cette partie. Si nous rectifions le lit de A en G, le fond qui, auparavant, étoit supérieur à la ligne de niveau GM, d'une quantité = LM, ne s'élèvera plus au-dessus de cette ligne qu'à la hauteur de AK. Menons KN parallèle à AM, la corrosion en A sera à-peu-près = LN : or, cette corrosion s'étendra en amont jusqu'à une très-grande distance. Fig. 46.

Au reste, nous disons que la corrosion en A sera *à-peu-près* = LM; car (181) la grossièreté des matières du fond y augmentera; ce qui (176) produira une augmentation de pente au point A; mais cette modification n'empêchera pas que LN ne soit toujours très-considérable.

Il n'y auroit qu'un seul moyen d'obvier à cet inconvénient. Ce seroit (216) de construire un radier à la tête des redressemens. Mais alors (213. 2°. & 3°.), il y auroit une cascade, & le radier deviendroit un déversoir qui exigeroit des écluses pour le rétablissement de la navigation.

Ainsi, il paroît que ce projet n'a pas été assez mûri.

Danger résultant des petits canaux de redressement projettés.

543. Un projet beaucoup plus raisonnable, & proposé dans la conclusion générale du rapport fait au comité des travaux publics de la Convention nationale, par les citoyens Bossut & David le Roi, chargés d'examiner les canaux projettés de navigation, entre l'Oise & la Seine, seroit de ne pratiquer à ces redressemens qu'un simple canal destiné au hallage. Cependant nous ne devons pas nous dissimuler qu'il seroit aussi susceptible de quelques inconvéniens; car, si l'on ne prenoit pas les plus grandes précautions à l'entrée des redressemens, il pourroit fort bien arriver, ce qui eût lieu en 1711, au canal des Lônes sur le Rhône, au-dessous d'Arles (182), c'est-à-dire, que, dans une crue, la rivière ne s'y précipitât à raison de l'augmentation de pente qu'elle y trouveroit (105. 2°.). La chose pourroit même avoir lieu malgré toutes les précautions qu'on pourroit prendre. Il ne faudroit pour cela qu'une crue extraordinaire qui permît à la rivière de franchir les ouvrages & d'entrer dans les canaux de redressement. Or, alors, il en résulteroit infailliblement les désastres dont nous venons de parler (542). Ainsi, avant de se livrer à ces redressemens par des canaux partiels, il sera peut-être prudent de faire de nouvelles réflexions sur les dangers auxquels on expose la Cité & sur les moyens de les prévenir.

Canal projetté par le citoyen Lemoine.

544. Le projet de canal du citoyen Lemoine, tendant à faire communiquer la Seine avec l'Océan pris à Dieppe, a été très-sagement discuté dans le rapport que nous avons cité (543), par les citoyens Bossut & David le Roi, rapport qui justifie que ce projet est de la classe de ceux dont nous avons parlé (505. 2°. & 3°.). N'ayant donc pas pour objet la navigation de la Seine, nous n'en dirons rien de plus.

Venons à présent aux moyens que nous avons à proposer pour remplir l'objet de la navigation de la Seine.

545.

545. Cette rivière a une pente convenable pour la navigation à la voile. Mais elle n'a pas assez de profondeur d'eau en divers endroits, pour recevoir & amener jusqu'à Paris les vaisseaux qui s'arrêtent à Rouen (535). Tous les autres obstacles mentionnés aux n. 536 & 538, sont susceptibles d'être levés ou modifiés : il n'est question que de procurer par-tout à la rivière, la profondeur d'eau requise. C'est à ce seul point que tient la navigation dont il s'agit : or la question se réduit à celle-ci : *Forcer la rivière, par les moyens les plus simples & les plus économiques, à creuser son lit, & à prendre la profondeur d'eau nécessaire, pour que, dans le tems même des plus basses eaux, les vaisseaux qui arrivent à Rouen, puissent remonter à la voile jusqu'à Paris.* Nous allons voir que cette question se trouve résolue par les principes que nous avons établis dans le cours de cet ouvrage, & particulièrement, par ce que nous avons dit dans la section Ire. de cette partie, n. 439 & 464. Car telle est la fécondité des principes établis sur les véritables loix de la nature, qu'ils s'appliquent avec succès à la solution de tout ce qui y est relatif.

Problême à la solution duquel se réduit la navigation de la Seine à la voile.

546. Nous avons vu, au n. 456, que lorsqu'une rivière avoit trop de largeur, il en falloit réduire le lit, & (416) que cette réduction devoit s'opérer, non par des ouvrages continus, mais seulement par des rétrécissemens partiels, à exécuter par intervalles. Or, la Seine n'a peu de profondeur, que parce qu'elle a trop de largeur (449). Donc son lit doit être réduit, & cette réduction ne doit s'opérer que par des rétrécissemens placés par intervalles.

On doit réduire le lit de la rivière.

547. Nous avons dit (457) que la largeur à donner à un rétrécissement étoit en raison inverse de la profondeur d'eau qu'on vouloit se procurer. Soient donc la largeur actuelle du lit de la rivière $= l$, la largeur cherchée d'un rétrécissement $= x$, la profondeur d'eau à se procurer, dans le tems des basses

Largeur à donner aux rétrécissemens.

eaux, au rétrécissement $= a$. Puisqu'à cette époque, dans l'état actuel, la profondeur de la rivière est d'environ 4 pieds & demi, nous aurons la proportion $a : \frac{9}{2} :: l : x = \frac{9l}{2a}$.

Ainsi, supposons qu'à l'endroit à rétrécir, la largeur de la rivière soit de 80 toises, & qu'on veuille s'y procurer 12 pieds de profondeur d'eau, lors des basses eaux, on aura $l = 80$, $a = 12$ & $x = 30$ toises.

Si à l'endroit dont il s'agit la rivière n'avoit que 60 toises, on auroit $x = 22$ toises 3 pieds. Or, de Paris à Rouen, la largeur de la rivière, réunie en un seul lit, excède toujours 60 toises, & quelquefois même 80. Par conséquent, on peut se procurer 12 pieds de profondeur d'eau, & avoir un rétrécissement au-delà de 22 toises & demie de largeur; ce qui est plus que suffisant pour la navigation à la voile.

Distance des rétrécissemens.

548. L'intervalle d'un rétrécissement à l'autre est très-aisé à déterminer par la voie de l'expérience. On construira le premier rétrécissement en aval, d'après les dimensions calculées, ainsi qu'on vient de voir (547); il forcera nécessairement la rivière à corroder & à approfondir le fond (209 & 212), & (211) la corrosion s'étendra plus loin en amont qu'en aval. Lorsqu'il aura produit son effet, il sera aisé de juger à quelle distance en amont du premier rétrécissement, il faudra établir le second, pour propager la corrosion & la profondeur d'eau demandée.

Ce procédé a d'ailleurs un autre avantage : c'est que d'après l'effet produit par le premier rétrécissement, on jugera, à coup sûr, de la possibilité du projet, & des dépenses qu'il nécessitera, tandis que, dans beaucoup de projets, on ne peut pas se procurer la même certitude. Par où l'on voit que, pour constater cette possibilité, tout se réduit à faire les avances des frais

d'un ſeul rétréciſſement, frais qui ne s'élèveront pas à 40,000 livres.

Au ſurplus, en comparant la pente de la Seine avec celle du Verdon à Caſtellanne, & en rapprochant la corroſion à produire ſur la première de ces rivières, avec celle produite ſur la ſeconde (212), nous pouvons aſſurer que les rétréciſſemens y ſeront fort éloignés, & que leur diſtance reſpective pourroit bien excéder 2000 toiſes. Conſéquemment, le nombre des rétréciſſemens diminuant, les frais d'exécution diminueroient auſſi à proportion.

549. Les ouvrages des rétréciſſemens ſeront dans le cas d'être franchis par les eaux dans les crues; car il faut qu'elles aient la liberté de paſſer. C'eſt pour cette raiſon que ces ouvrages ne ſeront qu'en bois, & terminés en glacis (459 & 460).

Les ouvrages ne doivent pas gêner le paſſage des eaux.

550. Il y aura des cas où, par les vents contraires, on pourra avoir beſoin de ſe faire haller: par conſéquent les ouvrages auront la forme preſcrite au n. 461.

Ils ſeront auſſi analogues au hallage.

551. Par-tout où la rivière ſe partagera en pluſieurs branches, on la réduira en une ſeule, ainſi qu'il a été dit (454); & dans le cas où cette opération pourroit préjudicier aux communes riveraines des branches barrées, on ſe conformera à ce que nous avons dit au n. 455.

Précautions à prendre dans les barrages.

552. Dans l'exécution de ce projet, il ſera à propos de mettre les ponts & les autres édifices qui ſont ſur la rivière, à l'abri des effets de la corroſion qu'on veut produire: pour cela on effectuera ce qui a été dit au n. 462.

Précautions à prendre pour ne pas nuire aux édifices ſur la rivière.

553. Comme les navires mâtés ne pourroient pas paſſer ſous les arches des ponts, on aura recours au moyen porté par le n. 463.

Moyen d'éviter les ponts en naviguant à la voile.

554. Paris & ſes alentours exigent des précautions particulières, ſoit pour aſſurer les ouvrages d'art qui exiſtent ſur la

Précautions à prendre pour Paris & ſes environs.

rivière, ſoit pour l'établiſſement d'un port qui ſoit à l'abri des dépôts, & qui n'ait pas l'inconvénient des gares.

Le pont de la Révolution paroît devoir être le terme de la navigation ſur la rivière : car il ne ſeroit guères poſſible d'introduire les navires dans la partie ſupérieure, ſoit par la difficulté de conſtruire des canaux latéraux au droit des ponts, ſoit ſur-tout par les dépenſes énormes que néceſſiteroient tous les édifices placés dans Paris ſur le lit de la Seine, pour en préſerver les fondemens, de la corroſion. En conſéquence, à l'iſſue du pont de la Révolution, il devroit y avoir un radier qui mît à couvert de l'action des eaux, tous les ouvrages d'art en amont (215).

Quant au port, il paroît que ſon emplacement naturel ſeroit un canal d'environ 25 toiſes de largeur, qui, partant de l'Arſenal, ou même de plus haut, paſſât par les marais des fauxbourgs Saint-Martin, Saint-Denis, &c., & vînt rejoindre la rivière aux environs de la barrière de la Conférence, à l'extrêmité des Champs-Éliſées. Ce canal, habituellement alimenté par la rivière, ne ſeroit aucunement ſujet aux encombremens, & offriroit, à portée de tous les quartiers de Paris, un port très-ſpacieux & beaucoup plus commode que s'il étoit placé dans le lit actuel en aval du pont de la Révolution.

On n'auroit pas à craindre que, dans les baſſes eaux, la rivière fût à ſec dans Paris ; car la ſuperficie des eaux y ſeroit toujours à la même hauteur (457). Elles y auroient ſeulement moins de vîteſſe, parce qu'elles y ſeroient moins volumineuſes.

Cas où le fond ſeroit incorroſible.

555. Dans le cas où le fond de la rivière ſeroit de nature à ne pouvoir pas être entamé par la corroſion, on aura recours au moyen indiqué au n. 545.

Voyons à préſent ſi le procédé que nous venons de preſcrire

ſatisfait à toutes les conditions de la queſtion propoſée au n. 545.

556 1°. *On forcera la rivière à creuſer ſon lit :* la choſe eſt évidente : car, en reſſerrant le courant, on augmente ſa force (210-212, 219 & 220). Le procédé preſcrit réſout le problême ſur la navigation de la Seine.

2°. *Elle creuſera ſon lit tout le long de ſon cours dans la partie où on le rétrécira.* Cela eſt encore évident, d'après ce que nous avons dit ci-devant (219 & 220).

3°. *Elle prendra la profondeur d'eau néceſſaire aux vaiſſeaux qui arrivent à Rouen.* Car (457 & 547) cette profondeur eſt relative à la largeur à donner aux rétréciſſemens comparée à celle du lit actuel.

4°. *Ces vaiſſeaux pourront alors remonter à la voile juſqu'à Paris.* Car ils auront la profondeur d'eau néceſſaire (547). La pente de la rivière eſt relative à la navigation à la voile (535). La largeur du lit aux rétréciſſemens ſera au-delà de 22 toiſes & demie (547), c'eſt-à-dire plus forte que celle des goulets d'entrée de pluſieurs ports.

5°. *Les moyens à employer ſeront les plus ſimples & les plus économiques poſſibles.* Car (459 & 460) les ouvrages ne ſeront qu'en bois, terminés en glacis, & conſtruits par intervalles fort éloignés (548).

Ainſi, cette conſtruction remplit toutes les conditions de la queſtion du n. 545.

557. Pour ne rien laiſſer à deſirer & raſſurer tous les eſprits ſur tous les accidens qu'on pourroit craindre, nous récapitulerons ici toutes les raiſons qui peuvent lever les doutes que ce ſyſtême de navigation pourroit faire naître. Obſervations qui lèvent toutes les difficultés.

1°. *On n'a rien à craindre de la part du gonflement des eaux aux rétréciſſemens.* Nous l'avons démontré au n. 457.

2°. *La corrosion aura lieu nonobstant les sinuosités du lit de la rivière.* On en peut voir les preuves au n. 425.

3°. *Les crues des eaux auront constamment un passage libre.* C'est une conséquence de ce que nous avons dit au n. 459.

4°. *Les éperons ou digues de rétrécissement ne formeront pas des écueils dans le tems des hautes eaux.* Nous en avons encore donné le moyen au n. 459.

5°. *Les ouvrages ne seront point dégradés, quoique franchis par les hautes eaux.* On en a vu la raison au n. 460.

6°. *Les ponts & autres ouvrages d'art sur la rivière, ne seront pas dégradés par la corrosion.* Nous en avons donné les moyens au n. 462.

7°. *Le hallage au besoin ne souffrira pas.* La forme des ouvrages prescrits au n. 461 le garantit.

8°. *Le barrage des branches ne nuira pas aux communes riveraines.* On le voit par les n. 455 & 551.

9°. *Le lit, quoiqu'incorrosible en certains endroits, pourra être rendu corrosible.* Cela est prouvé par les n. 422 & 555.

10°. *Les ponts ne seront pas un obstacle au passage des navires.* Nous en avons vu la raison aux n. 463 & 553.

11°. *Les édifices de Paris n'auront rien à craindre de la corrosion.* Nous en avons donné le moyen au n. 554.

12°. Enfin, *la Seine, dans Paris, aura toujours la même profondeur d'eau.* Nous l'avons vu au même n. 554.

On aura souvent plus de profondeur d'eau que n'en exigent les vaisseaux marchands.

558. Le tems des basses eaux de la rivière est fort circonscrit, & se réduit communément à deux ou trois mois dans le courant de l'année. C'est à cette époque que la profondeur d'eau, dans l'état actuel, est seulement de 4 pieds 6 pouces;

mais ce tems-là passé, la profondeur ordinaire est de 6 & 7 pieds. Par conséquent, si les rétrécissemens sont tels, qu'à l'époque des plus basses eaux on se procure 12 pieds de profondeur d'eau, il est aisé de sentir, que, dans le tems des eaux moyennes, on en aura jusqu'à 14 & 15 pieds. Conséquemment, dans certains cas, on pourroit, au besoin, faire venir des frégates à Paris, ou du moins les y construire, ainsi que des vaisseaux de ligne, qu'on armeroit ensuite ailleurs.

Ce projet est de nature à intéresser l'Etat.

559. Si l'on regarde ce projet de navigation comme n'intéressant que Paris, considérée d'une manière isolée, il tomberoit dans la classe de ceux mentionnés au n. 506. 2°. & 3°.; & pour lors l'exécution en seroit subordonnée à de simples calculs de finance. Mais Paris étant le siège du gouvernement, la chose peut être envisagée sous d'autres rapports relatifs à la politique. Au surplus, notre objet étoit d'en prouver la possibilité morale & physique : nous croyons l'avoir rempli par l'exposé que nous venons de faire. Nous laissons à qui de droit l'examen des raisons d'état qui peuvent s'y rapporter.

On pourroit pousser la navigation à la voile au-delà de Paris.

560. Les moyens que nous venons de prescrire pour opérer la navigation à la voile sur la Seine jusqu'à Paris, pourroient être facilement employés ultérieurement, tant sur la même rivière, que sur ses affluens supérieurs & inférieurs : du moins on pourroit y ménager une navigation pour des tartanes & des allèges; mais ce projet est subordonné aux considérations relatives au n. 506. 2°. & 3°. Ainsi nous n'en dirons rien de plus.

561. Au surplus, nous devons prévenir nos lecteurs que nous n'avons d'autre objet que de donner nos idées sur un projet dont chacun sent les avantages. Nous les soumettons, ces idées, à la censure des personnes plus instruites que nous, soit sur l'art, soit sur les localités. Il est possible qu'un examen plus approfondi du cours de la rivière, présente des difficultés

que nous n'avons pas prévues; mais il eſt poſſible auſſi que ces difficultés ſoient levées, ſoit par les principes que nous avons établis, ſoit par des moyens que les circonſtances ou les lieux feront découvrir.

FIN.

TABLE
DES MATIÈRES
Contenues dans ce Volume.

PREMIERE PARTIE.

De la théorie des Torrens & des Rivières.

SECTION I.

Notions préliminaires.

§. I.

Observations sur les Montagnes.

§. II.

De l'origine des Sources & des Rivières.

§. III.

Observations générales sur les Torrens & les Rivières.

SECTION II.

Des Torrens.

§. I.

Des Torrens considérés sur les montagnes où ils se forment.

§. II.

Des Torrens considérés au pied d'une montagne.

PREMIER CAS.

DEUXIÈME CAS.

§. III.

Des causes des Torrens & des effets qui en résultent.

SECTION III.

Des Rivières.

CHAPITRE I.

Des Rivières à fond de gravier.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de gravier.

§. II.

De l'action des eaux sur le fond en gravier; de la corrosion qui s'y exerce, & des moyens de la provoquer & de la modifier.

§. III.

Des variations des Rivières à fond de gravier, & de leur action sur les bords.

CHAPITRE II.

Des Rivières à fond de sable & de limon.

§. I.

De la nature & de la pente du lit des Rivières à fond de sable & de limon.

§. II.

De l'action des eaux sur le fond en sable & limon.

§. III.

Des variations des Rivières à fond de sable & de limon, & de leur action sur les bords.

§. IV.

De l'embouchure des Rivières dans la Mer.

SECTION IV.

Des Torrens-Rivières.

SECTION V.

Des Confluens.

§. I.

Observations générales sur les Confluens.

§. II.

Du confluent de deux Torrens.

§. III.

Du confluent d'un Torrent & d'une rivière, ou d'un Torrent-Rivière.

Ce

§. IV.

Du Confluent d'une Rivière & d'un Torrent-Rivière.

§. V.

Du Confluent de deux Rivières.

§. VI.

Du Confluent de deux Torrens-Rivières.

DEUXIÈME PARTIE.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens, des Rivières & des Torrens-Rivières.

SECTION I.

Des moyens d'empêcher la formation & les ravages des Torrens.

§. I.

Des moyens d'empêcher la formation des Torrens sur les Montagnes.

§. II.

Des moyens d'empêcher les ravages des Torrens au bas des Montagnes.

SECTION II.

Des moyens de contenir les Rivières & les Torrens-Rivières.

CHAPITRE I.

Des Digues.

§. I.

Des Digues considérées par rapport à leur direction.

§. II.

Des diverses espèces de digues, leur profil, leurs matériaux, leur construction, & des cas où l'on doit les employer.

ARTICLE I.

Des digues en terre ou en gravier qui doivent être terminées par un éperon.

ARTICLE II.

Des Digues à péré.

ARTICLE III.

Des Digues à pierres sèches.

ARTICLE IV.

Des Digues en maçonnerie.

ARTICLE V.

Des Digues en gabions.

ARTICLE VI.

Des Digues par encaissement.

ARTICLE VII.

Des Digues en bois.

ARTICLE VIII.

Des Levées ou Turcies.

ARTICLE IX.

Résumé général des Digues précédentes.

CHAPITRE II.

De la réduction des Rivières & des Torrens-Rivières.

§. I.

De la réduction des Rivières à fond de gravier & des Torrens-Rivières.

§. II.

De la réduction des Rivières à fond de sable & de limon.

SECTION III.

Usage des principes précédens dans la construction des Ponts sur les Rivières à fond de gravier.

TROISIÈME PARTIE.

De la Navigation, du Hallage & de la Flottaison des Rivières.

SECTION I.

De la Navigation des Rivières.

SECTION II.

Du Hallage des Rivières.

SECTION III.

De la Flottaison des Rivières.

SECTION IV.

De la Navigation intérieure de la France.

SECTION V.

De la Navigation à la voile par la Seine jusqu'à Paris.

Fin de la Table des Matières.

ERRATA.

PAGE ix, Discours préliminaire, ligne 4, on doit les figurer, *lisez* on doit se les figurer.

Pag. 9, lig. 11, des terres, *lisez* des torrens.

Pag. 17, lig. 25, ou à peu près donc: *lisez* ou à peu près. Donc:

Ibid, lig. 26, un volume de 800 fois plus grand, *lisez* un volume 800 fois &c.

Pag. 16, dernière ligne, de 36 pouces, lorsqu'il règne &c., *lisez* de 36 pouces. Lorsqu'il règne &c.

Pag. 25, lig. 17, sur une des masses primitives, les eaux, *lisez* sur une des masses primitives. Les eaux.

Pag. 30, lig. 26, dont le torrent soit susceptible, *lisez* dont le torrent ou la rivière &c.

Pag. 32, lig. 10 s'écrouleront, *lisez* s'écouleront.

Pag. 39, lig. 31, sur leur prolongement HH, *lisez* sur leur prolongement HH'.

Pag. 40, lig. 5, qu'elles auront perdu. *lisez* qu'elles auront perdue.

Ibid, ligne antépénultieme, transversale FfgG, *lisez* transversale F*fg*G.

Ibid, dernière ligne; 60 pieds, en faisant abstraction, *lisez* 60 pieds. En faisant abstraction.

Pag. 45, lig. 9, que dans d'autres, il faut donc, *lisez* que dans d'autres. Il faut donc.

Pag. 48, lig. 30, de la tranchée FfgG, *lisez* F*fg*G.

Pag. 49, lig. 24, qui la contrarie, la force, *lisez* qui la contrarie. La force.

Pag. 59, lig. 2, elles ont besoin d'être poussées, *lisez* ils ont besoin d'être poussés.

Nn

Pag. 64, ligne 4, leur pente, *lisez* leur perte.

Pag. 71, lig. 4 en marge, qui le fournit, *lis.* qui le fournissent.

Pag. 76, lig. 19, que nous proposons, *lisez* que nous nous proposons.

Pag 79, lig. 29, la pointe B, *lisez* le point B.

Pag. 81, lig. 13, de s'aggrandir, *lis.* de l'aggrandir.

Pag. 84, lig. 8, des deux rivières, *lisez* de deux rivières.

Pag. 86, lig. 11, & de la résistance, *lisez* & la résistance.

Pag. 90, lig. 15, & couvert, *lisez* & ouvert.

Pag. 100, lig. 22, ces eaux, *lisez* les eaux.

Pag. 101, lig 30, en roches, *lisez* en rocher.

Pag. 108, lig. 7, dans une grande crue, la pente, *lisez* dans une grande crue. La pente.

Pag. 110, lig. 2 en marge, ne sera qu'un limon, *lisez* ne sera qu'en limon.

Pag. 117, lig. 15, de A en D, le volume d'eau, *lisez* de A en D. Le volume d'eau.

Pag. 118, lig. 8, dans le terrein, *lisez* dans le terroir.

Pag. 119, lig. 3, s'y appliquent, *lisez* s'y applique.

Ibid, lig. 9, ces torrens rivières, *lisez* le torrent rivière.

Pag. 125, lig. 6, ou confluent, *lisez* au confluent.

Pag. 126, lig. 25, dans le terrein, *lisez* dans le terroir.

Pag. 137, lig. 9, k'q'q'x, *lisez* k'q',q'x.

Pag. 142, lig. 19, A'D'C'B, *lisez* A'D'C'B'.

Pag. 145, dernière ligne, *la force du mal*, lisez *la source du mal.*

Pag. 151, lig. 7, quelque soit la longueur, *lisez* quelleque soit la longueur.

Pag. 155, dernière ligne, $RH = y\frac{2mrpx}{q}$, *lisez* $RH = y =$ &c.

Pag. 160, lig. 17, Soit ABCD, *lisez* Soient &c.

Pag. 161, ligne 15, de la deuxième partie, *lisez* de la deuxième sorte.

Pag. 162, lig. 31, de deux pouces, *lis.* de deux pouces.

Page 164, lig. 17, pal-planchers, *lis.* pal-planches.
Pag. 168, lig. 3, Or nous allons, *lis.* Nous allons.
Pag. 169, lig. 9, au courant, pour obvier, *lis.* au courant. Pour obvier.
Pag. 175., lig. 22, ne doit essayer, *lis.* ne doit essuyer.
Pag. 176. lig. 7, ainsi que sa direction, *lis.* ainsi que de sa direction.
Pag. 182, lig. 8, dans le département du Midi, *lis.* dans les Départemens du Midi.
Pag. 188, lig. 29, est d'être placée, *lis.* est d'être placées.
Pag. 191, lig. 5, des plus fottes crues, *lis.* des plus fortes crues.
Pag. 198, lig. 17, le moins d'ouvrage possibles, *lis.* le moins d'ouvrages possibles.
Pag 206, lig. 5, d'éviter les mouvemens, *lis.* d'éviter les inconvéniens.
Ibid., lig. 7, un canal de navigation particulière, *lis.* un canal de navigation particulier.
Pag. 207, lig. 12, qui séparent les étangs de *Lavaldue* & d'*Engrenieu*; & ceux de *Citis*, *lis.* qui séparent les étangs de *Lavalduc* & d'*Engrenieur*; de ceux de *Citis*.
Pag. 211, lig. 24, sur les ouvrages des rétrécissemens en chemin de hallage, *lis.* sur les ouvrages des rétrécissemens, un chemin de hallage.
Pag. 214, lig. 5, mais en la descendant, *lis.* mais encore en la descendant.
Ibid., ligne antépénultieme, Nommons cette projection *f*, *lis.* Nommons cette projection *s*.
Pag. 215, lig. 7, projection *f*, *lis.* projection *s*.
Ibid. lig. 13, dans le buiome, *lis.* dans le binome.
Pag. 216, lig. 18, Appliquons-là, *lis.* Appliquons-la.
Ibid., lig. 19, $\overline{v'+v}$. *lis.* $\overline{v'\pm v}$.
Ibid., lig. 25, *même faute.*



Fig. 3.

E A B G D C M P H H' F

Fig. 5.

B L F K C E H G D

S C E N P R D O

285

Fig. 7.

D''
D
D'
H K C G'' G G' E

Fig. 9.

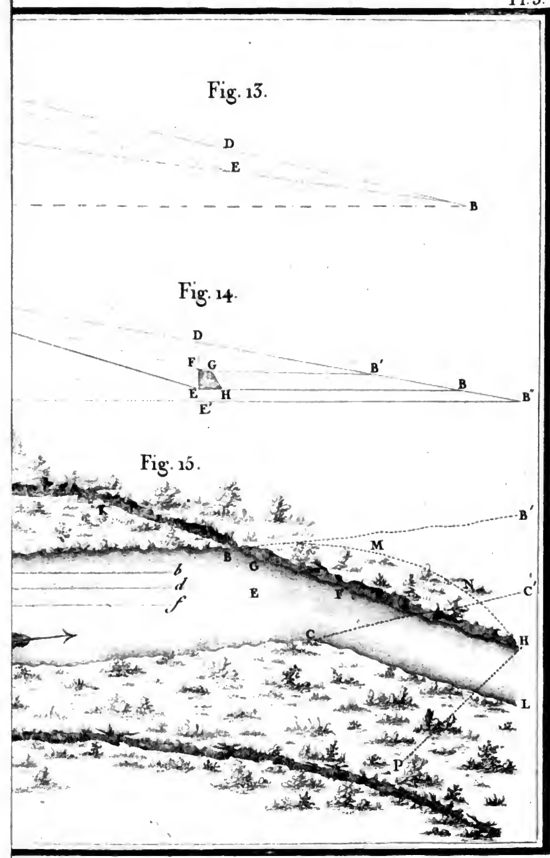
M'' M' P' P'' B

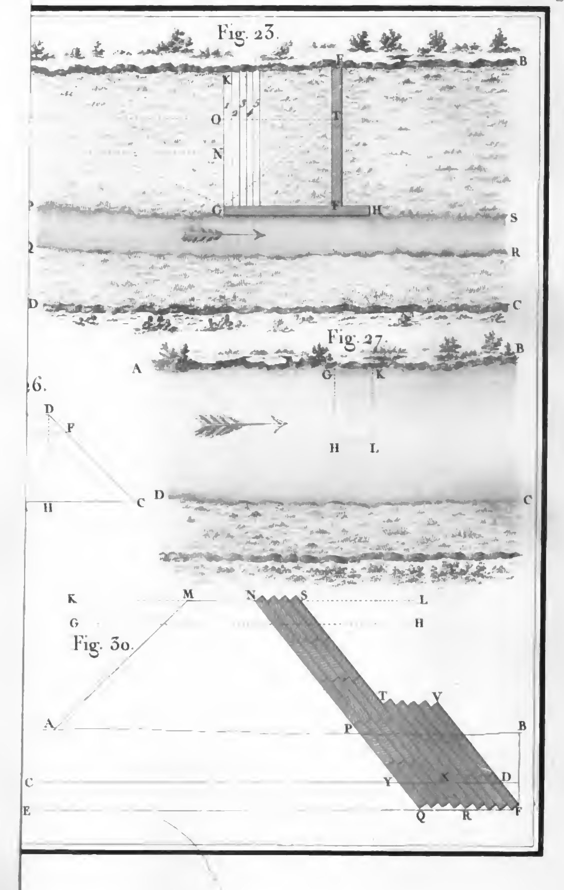
Fig. 10.

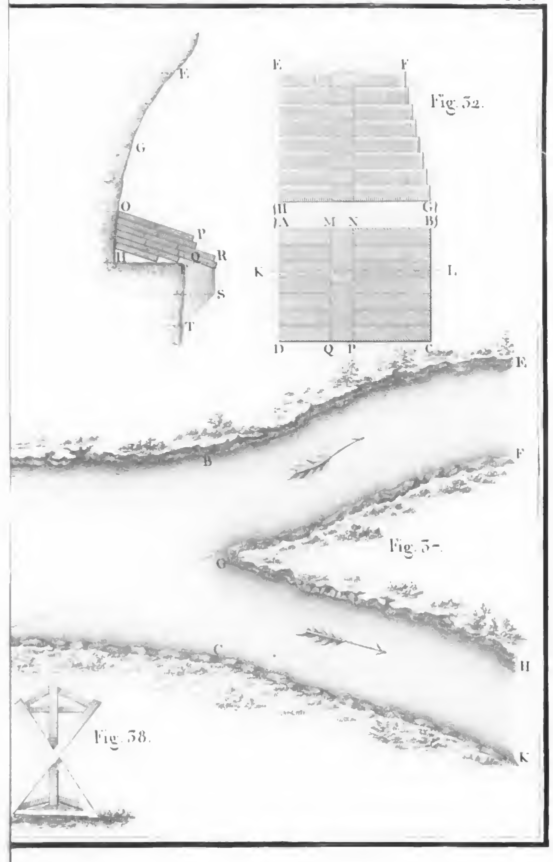
A G C D F E B

. 11.

N P Q B


Fig. 13.
D
E
B
Fig. 14.
D
F
G
B′
B
E
H
B″
E′
Fig. 15.
K
B′
M
B
G
b
d
E
F
N
C′
f
C
H
L
P


Fig. 23.
F
B
K
O
T
N
G
H
S
Q
R
D
C
Fig. 27.
A
B
G
K
H
L
D
C
26.
D
F
H
C
K
M
N
S
L
G
H
Fig. 30.
T
V
A
P
B
C
Y
X
D
E
Q
R
F


E
G
O
P
Q
R
H
S
T
E
F
Fig. 32.
H
G
A
M
N
B
K
L
D
Q
P
C
E
B
F
Fig. 37.
G
C
H
K
Fig. 38.

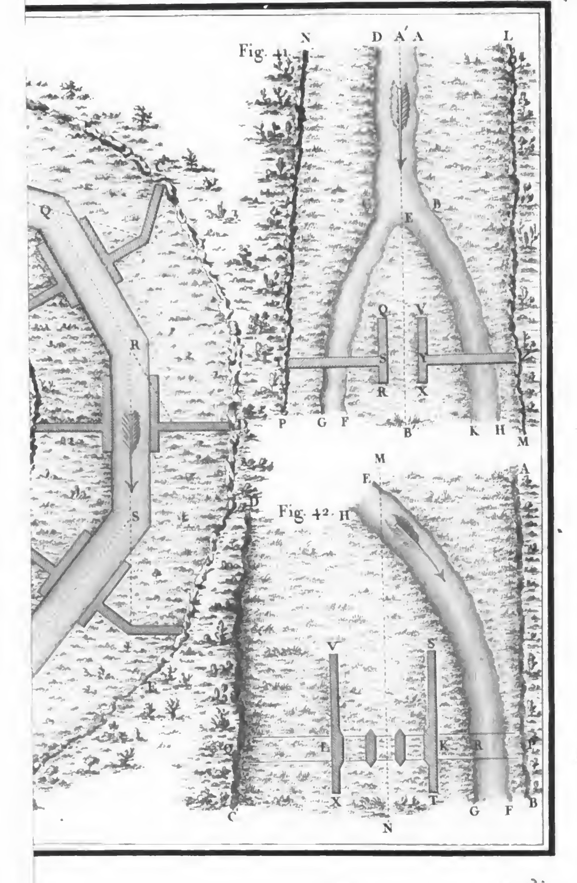

Fig. 41.
N
D
A'
A
L
E
B
Q
V
S
Y
R
X
P
G
F
B
K
H
M
Fig. 42.
M
E
H
A
V
S
L
K
R
P
X
T
G
F
B
N
C
D
Q
R
S

Fig. 44.

